

# 实用工厂供配电 系统运行与维护

赵俊生 拾以超 主 编  
刘 军 程敬春 于宝全 主 编  
唐义锋 主 审

- ◎ 供配电系统基本概念
- ◎ 一次设备的运行与维护
  - ※ 变压器的运行监视与故障处理
  - ※ 高压电气设备的运行与维护
  - ※ 低压配电屏的运行与维护
- ◎ 电气主接线的运行分析
  - ※ 电气主接线的运行分析
  - ※ 工厂电力网络
- ◎ 二次系统的调试与运行维护
  - ※ 二次回路的分析与监测
  - ※ 继电保护的调试与维护
  - ※ 微机保护的检验与调试
  - ※ 自动装置的检验与调试
  - ※ 变电站综合自动化系统的运行管理
- ◎ 电气主接线的倒闸操作
  - ※ 电气倒闸操作
  - ※ 工厂电气照明
- ◎ 供配电系统的方案设计
  - ※ 电气主接线方案设计
  - ※ 工厂电力负荷的计算
  - ※ 短路故障和短路电流的计算
  - ※ 供配电系统电气设备的选择与校验
  - ※ 电气安全、接地与防雷设计



全国高等职业教育机电类专业规划教材

# 实用工厂供配电系统运行与维护

赵俊生 拾以超 主 编

刘 军 程敬春 于宝全 副主编

唐义锋 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书为高职院校重点专业的核心课程教材之一,内容按照各类工厂的实际情况编写,包括供电系统认知、一次设备的运行与维护、电气主接线的运行分析、二次系统的调试与运行维护、电气主接线的倒闸操作、供电系统的方案设计6个教学任务。本书围绕供电基本知识、基本理论、运行维护及工程实用技术进行了详尽的论述,同时增加了新型费控智能电能表的内容,并配有贴近实际工程的例题解析及应用举例。为将理论和实践相结合,共设置了18个任务,并设有与理论知识相呼应的实操训练,突出了工程实践能力的培养。

本书可作为高职高专、成人教育的电气自动化技术、电力系统自动化技术、机电一体化技术、数控技术应用、生产过程自动化技术等相关专业的教材和短期培训的教材,还可供其他从事工厂供电工作的工程技术人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

实用工厂供电系统运行与维护/赵俊生,拾以超主编. —北京:电子工业出版社,2013.11

全国高等职业教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-121-21885-9

I. ①实… II. ①赵… ②拾… III. ①工厂—供电系统—电力系统运行—高等职业教育—教材②工厂—配电系统—电力系统运行—高等职业教育—教材③工厂—供电系统—维修—高等职业教育—教材④工厂—配电系统—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第271598号

策划编辑:王昭松

责任编辑:郝黎明

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:473.6千字

印 次:2013年11月第1次印刷

印 数:3000册 定价:38.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010)88258888。

## 读者意见反馈表

尊敬的读者:

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材,请您抽出宝贵的时间,将您的意见以下表的方式(可从 <http://www.hxedu.com.cn> 下载本调查表)及时告知我们,以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材,我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名: \_\_\_\_\_ 电话: \_\_\_\_\_

职业: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

邮编: \_\_\_\_\_ 通信地址: \_\_\_\_\_

1. 您对本书的总体看法是:

☐很满意    ☐比较满意    ☐尚可    ☐不太满意    ☐不满意

2. 您对本书的结构(章节): ☐满意 ☐不满意 改进意见\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. 您对本书的内容: ☐满意 ☐不满意 改进意见\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. 您对本书的习题: ☐满意 ☐不满意 改进意见\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. 您对本书的实训: ☐满意 ☐不满意 改进意见\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. 您对本书其他的改进意见:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. 您感兴趣或希望增加的教材选题是:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

请寄: 100036 北京市万寿路 173 信箱高职教育分社 收

电话: 010-88254015      E-mail: wangzs@phei.com.cn



# 前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》的精神,为了适应社会经济和科学技术的迅速发展及教育教学改革的需要,根据“以就业为导向”的原则,组织编写对电类教材的整体优化力图有所突破、有所创新的教材,供电气自动化技术、电力系统自动化技术、机电一体化技术、数控技术应用、生产过程自动化技术等相关专业使用。

在内容的选取方面,将理论和实训合二为一,按照 1:1 的比例,称为《实用工厂供配电系统运行与维护》。以应用为目的,贯彻“必需”、“够用”为度的原则,以掌握概念、强化应用、培养技能为重点,精选内容,降低理论,加强基础,突出应用,在学习中注重培养学生分析问题、解决问题的能力;按照认知过程和接受能力,注重理论与工程实际紧密联系,实现工学结合,突出对学生综合能力及创新能力的培养;既有利于学,也有利于教。

在结构的组织方面打破常规,在项目内以任务训练为教学主线,通过设计不同的知识点和实操训练融于各个任务之中。各项目按照知识要求与技能要求循序渐进编排,突出技能的提高,努力去符合职业教育的工学结合教育特色。

本书集设计、技能实操训练与应用能力培养为一体,体系新颖,体现了新世纪高职高专教育人才的培养模式和基本要求;将知识点和技能点紧密结合,注重培养学生实际动手和解决工程实际问题能力,突出了高等职业教育的应用特色和能力本位;实操训练相对独立,互为体系,内容覆盖面广,选择性强,可满足不同层次、不同专业的需求;书中列举的实操训练课题,旨在训练学生工厂供配电技术应用的思想方法。

全书共 6 个项目、18 个任务、22 个实操训练,其中,赵俊生、拾以超担任主编;刘军、程敬春、于宝全担任副主编,具体分工如下:江苏金凤集团于宝全编写项目 1;江苏财经职业技术学院刘军编写项目 2;江苏食品药品职业技术学院拾以超编写项目 3;江苏财经职业技术学院赵俊生编写项目 4 和项目 6;炎黄职业技术学院程敬春编写项目 5。本书由江苏财经职业技术学院唐义锋教授担任主审。

在本书编写过程中得到了江苏财经职业技术学院、江苏食品药品职业技术学院、炎黄职业技术学院领导的大力支持和帮助,同时也得到了国家电网淮安供电局的大力支持和帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者  
2013 年 10 月

# 目 录

项目 1 供配电系统认知	(1)
任务 1 供配电系统基本概念	(1)
1.1 绪论	(1)
1.2 工厂供配电系统的基本概念	(2)
1.3 发电厂、变配电所	(4)
1.4 电力系统中性点的运行方式	(8)
1.5 电能用户与用电负荷的分类	(12)
1.6 电力系统供电质量和改进措施	(13)
1.7 工厂供配电系统的构成及布置	(16)
实操训练 1 参观发电厂和变配电所	(18)
1.8 问题与思考	(19)
项目 2 一次设备的运行与维护	(21)
任务 1 变压器的运行监视与故障处理	(21)
2.1.1 电力变压器的结构和类型	(21)
2.1.2 三相电力变压器的连接组别	(24)
2.1.3 工厂变电所中变压器的过负荷能力	(25)
2.1.4 电力变压器并联运行的目的和条件	(28)
2.1.5 变压器的操作与维护	(28)
2.1.6 成套配电装置	(29)
实操训练 2 变压器的运行与维护 and 常见故障分析	(34)
2.1.7 问题与思考	(36)
任务 2 高压电气设备的运行与维护	(36)
2.2.1 电弧的产生及灭弧的方法	(37)
2.2.2 工厂变电所常用的高压电气设备	(38)
2.2.3 电流互感器和电压互感器	(47)
实操训练 3 高压电器认识实训	(55)
2.2.4 问题与思考	(56)
任务 3 低压配电屏的运行与维护	(58)
2.3.1 工厂变配电所常用的低压电气设备	(58)
实操训练 4 低压电器认识实训	(65)
课外阅读 变配电所值班人员对电气设备的巡查	(67)
2.3.2 问题与思考	(68)

项目 3 电气主接线的运行分析 .....	(70)
任务 1 电气主接线的运行分析 .....	(70)
3.1.1 工厂变配电所主接线 .....	(70)
3.1.2 变配电所电气主接线的读图 .....	(81)
3.1.3 工厂变配电所的布置与结构 .....	(82)
实操训练 5 变配电所电气主接线实例读图训练 .....	(89)
3.1.4 问题与思考 .....	(91)
任务 2 工厂电力网络 .....	(91)
3.2.1 高压配电线路的接线方式 .....	(91)
3.2.2 低压配电线路的接线方式 .....	(93)
3.2.3 工厂架空线路的结构 .....	(94)
3.2.4 工厂架空线路的运行管理和维护 .....	(98)
3.2.5 架空绝缘线路 .....	(100)
3.2.6 工厂电缆线路、结构、型号及敷设 .....	(100)
3.2.7 车间内配电线路 .....	(104)
3.2.8 车间配电线路的运行维护 .....	(108)
实操训练 6 变配电所的送电与停电操作 .....	(109)
3.2.9 问题与思考 .....	(109)
项目 4 二次系统的调试与运行维护 .....	(112)
任务 1 二次回路的分析与监测 .....	(112)
4.1.1 供配电系统的二次回路 .....	(112)
4.1.2 二次回路的操作电源 .....	(116)
4.1.3 电测量仪表与绝缘监视装置 .....	(120)
4.1.4 断路器控制回路信号系统 .....	(125)
实操训练 7 检查电气二次回路的接线盒电缆走向 .....	(128)
4.1.5 费控智能电能表 .....	(129)
4.1.6 问题与思考 .....	(141)
任务 2 继电保护的调试与维护 .....	(142)
4.2.1 供配电系统继电保护的的任务、要求及基本原理 .....	(143)
4.2.2 常用保护继电器的类型与结构 .....	(145)
4.2.3 电流互感器与电流继电器的接线方式 .....	(149)
4.2.4 速断保护的组成和原理 .....	(154)
实操训练 8 各种继电器的认识和实训 .....	(156)
4.2.5 问题与思考 .....	(157)
任务 3 微机保护的检验与调试 .....	(158)
4.3.1 微机保护的现状和发展 .....	(158)
4.3.2 微机保护的功能及微机保护装置的硬件系统及软件系统 .....	(158)
实操训练 9 微机线路保护装置基本功能认知 .....	(168)
实操训练 10 微机定时限过电流保护 .....	(171)

任务 4    自动装置的检验与调试 .....	(172)
4.4.1    电力线路的自动重合闸装置 .....	(172)
4.4.2    备用电源自动投入装置 .....	(174)
实操训练 11    自动装置的检验与调试实训 .....	(174)
任务 5    变电站综合自动化系统的运行管理 .....	(178)
4.5.1    变电站综合自动化系统的运行与管理 .....	(178)
实操训练 12    分析变电站综合自动化系统 DF3300 的结构组成和特点 .....	(181)
实操训练 13    定时限过电流保护实训 .....	(183)
实操训练 14    反时限过电流保护实训 .....	(185)
4.5.2    问题与思考 .....	(186)
<b>项目 5    电气主接线倒闸操作 .....</b>	<b>(188)</b>
任务 1    电气倒闸操作 .....	(188)
5.1.1    电力系统静、动稳定及其保持的基本措施 .....	(188)
5.1.2    电力系统经济运行方法与措施 .....	(191)
5.1.3    变配电所一次系统的防误操作装置 .....	(193)
5.1.4    断路器的运行 .....	(195)
5.1.5    电气倒闸操作 .....	(198)
实操训练 15    模拟工厂供电倒闸操作实训 .....	(202)
5.1.6    问题与思考 .....	(206)
任务 2    工厂电气照明 .....	(206)
5.2.1    电光源 .....	(206)
5.2.2    照明的供电系统及线路控制 .....	(214)
5.2.3    工厂的节约用电 .....	(215)
5.2.4    提高功率因数的方法 .....	(216)
实操训练 16    照明线路的安装与维修实训 .....	(221)
5.2.6    问题与思考 .....	(222)
<b>项目 6    供配电系统的方案设计 .....</b>	<b>(224)</b>
任务 1    电气主接线方案设计 .....	(224)
6.1.1    工厂供配电系统设计的基本知识 .....	(224)
6.1.2    主接线方案的经济比较计算 .....	(227)
实操训练 17    工厂配电系统的设计任务书 .....	(228)
任务 2    工厂电力负荷的计算 .....	(230)
6.2.1    工厂用电设备容量的确定 .....	(230)
6.2.2    负荷曲线 .....	(232)
6.2.3    工厂计算负荷的确定 .....	(234)
实操训练 18    某工厂供配电系统的负荷计算 .....	(246)
6.2.4    问题与思考 .....	(247)
任务 3    短路故障和短路电流的计算 .....	(247)
6.3.1    短路故障的原因和种类 .....	(247)

6.3.2 短路计算方法简介	(249)
实操训练 19 短路电流的计算	(256)
6.3.3 问题与思考	(256)
任务 4 供配电系统电气设备的选择与校验	(257)
6.4.1 电气设备选择校验的条件	(257)
6.4.2 电气设备的选择和校验	(258)
实操训练 20 供配电系统设计方案中元件的选择和校验	(265)
6.4.3 问题与思考	(265)
任务 5 电气安全、接地与防雷设计	(265)
6.5.1 工厂供配电故障检修的安全技术措施	(265)
6.5.2 安全用电与触电急救	(268)
6.5.3 接地	(272)
6.5.4 低压接地制式对接地安全技术的基本要求	(276)
6.5.5 35kV 变电所的防雷设计	(277)
实操训练 21 接地电阻测量实训	(281)
实操训练 22 工厂供配电系统设计方案中避雷器的配置与选择	(283)
6.5.6 问题与思考	(283)
附表 A 常用高压断路器的技术数据	(284)
附表 B S9 系列 6~10kV 级铜绕组低损耗电力变压器的技术数据	(285)
参考文献	(286)



# 项目1 供配电系统认知

## 【教学目标】

通过对供配电系统基础知识的学习,要求理解国内外供配电技术的发展概况及电力系统的组成,熟悉电力系统相关的基础概念,了解电力系统的运行特点,熟悉供电质量及其改善措施,掌握电力用户供配电电压的选择,熟悉工厂供配电系统的基本组成。

## 【项目描述】

为建立电力系统的整体概念,本项目组织学生到学校周边地区的火电厂、变电所、大型企业配电室、开关厂、学院配电房或附近住宅小区等现场参观,以便对电力系统的发电、变电、配电、用电等不同环节有相关感性认识,以熟悉配电系统的组成、额定电压、中性点的运行方式;了解供配电系统的基本概念和基本要求,区分供配电系统的电气一、二次设备,为后续内容奠定基础。

## 任务1 供配电系统基本概念

## 【任务描述】

本任务概述工厂供配电技术的一些基本知识和基本问题。首先,介绍供配电系统的基本情况,主要介绍工厂内供电系统的构成,各主要构成环节的作用及名称;其次,介绍典型的各类工厂供配电系统及相关知识,主要介绍电力系统中性点运行方式;最后,介绍工厂供配电电压等级和电网及用电设备、变压器的额定电压等级。

## 【知识链接】

### 1.1 绪论

电能在人们日常生活中扮演着越来越重要的角色,社会的各行各业都离不开电能。电能有很多优点,它能够转换为其他形式的能量(机械能、热能、光能、化学能等)。电能的输配易于实现。电能可以做到比较精确的控制、计算和测量,应用灵活。因此,电能工业、交通运输业,以及人们的日常生活中得到越来越多的应用。作为一名工业电气技术人员应该掌握安全、可靠、经济、合理地供配电能和使用电能的技术。

在工厂里,电能虽然是工业生产的主要能源和动力,但是它在产品成本中所占的比重一般很小(除电化工业外)。例如,在机械工业中,电费开支占产品成本的5%左右。从投资额来看,一般机械类工厂在供电设备上的投资,也仅占总投资的5%左右。电能工业生产中的重要性,并不在于它在产品成本中或投资额中所占比重的多少,而在于工业生产实现电气化以后可以大大增加产量,提高产品质量,提高劳动生产率,降低劳动成本,减轻工人劳动强度,改

善工人的劳动条件,有利于实现生产过程自动化。从另一方面说,如果工厂的电能供应突然中断,则对工业生产可能造成严重的后果。例如,某些对供电可靠性要求很高的工厂,即使是极短时间的停电,也会引起重大设备损坏,或引起大量产品报废,甚至可能发生重大的人身事故,给国家和人民带来经济上的重大损失。

因此,工厂供配电工作对于发展工业生产,实现工业现代化,具有十分重要的意义。由于能源节约是工厂供配电工作的一个重要方面,而能源节约对于国家经济建设具有十分重要的战略意义,因此,必须做好工厂供配电工作。

工厂供配电工作要很好地为工业生产服务,切实保证工厂生产和生活用电的需要,并做好节能工作,就必须达到以下基本要求。

- (1) 安全:在电能的供应、分配和使用中,不应发生人身事故和设备事故。
- (2) 可靠:应满足电能用户对供电可靠性的要求。
- (3) 优质:应满足电能用户对电压和频率的要求。
- (4) 经济:供电系统的投资要少,运行费用要低,并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。

此外,在供电工作中,应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系,既要照顾局部和当前利益,又要有全局观点,能照顾大局,适用发展。例如,计划供用电的问题,就不能只考虑一个单位的局部利益,更要有全局观点。

## 1.2 工厂供配电系统的基本概念

### 1. 电力系统的组成

电能是由发电厂生产的,但发电厂往往距离城市和工业中心很远,这就需要将电能经过线路输送到城市或工业企业。为了减少输电的电能损耗,输送电能时要升压,采用高压输电线路将电能输送给用户,同时为了满足用户对电压的要求,输送到用户之后还要经过降压,而且还要合理地将电能分配到用户或生产车间的各个用电设备。

为了提高供电的可靠性和经济性,将发电厂通过电力网连接起来并联运行,组成庞大的联合动力系统。将各种类型发电厂中的发动机、升压降压变压器、输电线路,以及各种用电设备组联系在一起构成的统一的整体就是电力系统,用于实现完整的发电、输电、变电、配电和用电,图 1-1 为电力系统的示意图。

电能是一种使用方便、清洁、易于控制和转换的优质能源,由一次能源转换而来,电能的传输、转换和分配是通过电力系统得以实现的。因此,在学习供配电技术之前,首先要掌握电力系统的相关知识。

由于电能的生产、输送、分配和使用是在同一时间完成,又不能大量存储,因此,各个环节必须连接成为一个整体。由发电机、升压变电站,高压输电网、降压变电站、高压配电网和电能用户组成的发电、输电、变配电和用电的整体称为电力系统,如图 1-2 所示。

### 2. 电力系统的基本概念

(1) 动力系统。随着电能应用的普及,电力部门通常要把不同类型的发电厂在公共电网上并联运行。由电力系统、发电厂动力部分及热能系统组成的整体称为动力系统。动力系统是将电能、热能的生产与消费联系起来的纽带。

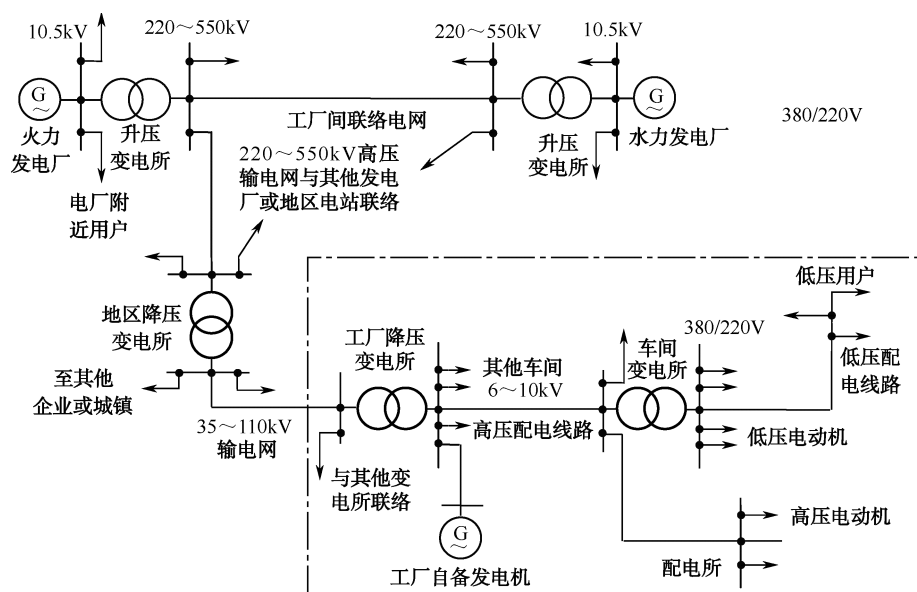


图 1-1 电力系统示意图

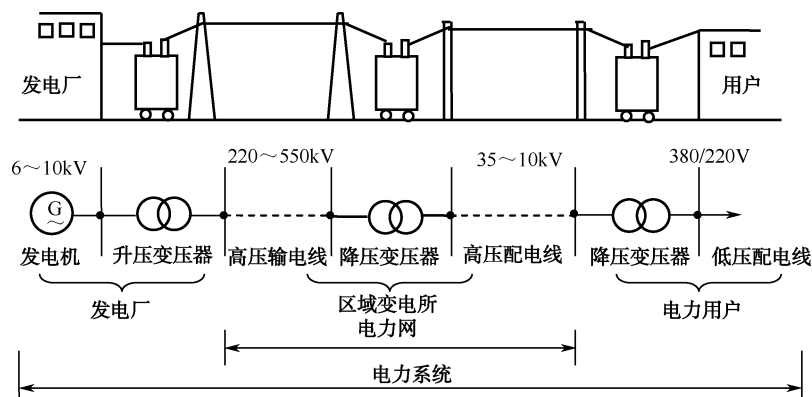


图 1-2 电力系统组成示意图

(2) 电力系统。电力系统是动力系统的一部分，由发电机、配电装置、变电站、输配电线路及用电设备组成。电力系统的功能是完成电能的生产、输送和分配。

(3) 电力网。电力网是电力系统的一部分，由各类变电站和各种不同电压等级的线路连接起来组成的统一网络，其作用是输送和分配电能。

电力网按其功能的不同可分为输电网和配电网：

输电网的电压等级一般在 110kV 以上，是输送电能的通道；配电网的电压等级一般在 110kV 及以下，是分配电能的通道。

### 3. 电力系统额定电压

第一类：100V 以下的额定电压，用于蓄电池和安全照明用具等电气设备。

第二类：大于 100V 而小于 1000V 的额定电压用于一般工业和民用电气设备。

第三类：1000V 以上的额定电压，用于高压电气设备。

国家规定电力网的额定电压为 500kV、220kV、110kV、63kV、35kV、10kV 保证电力设

备端电压不超过额定电压的 $\pm 5\%$ ，通常允许发电机额定电压比电网额定电压高 $\pm 5\%$ ，末端受电变电站端电压比电网额定电压低 $\pm 5\%$ 。

#### 4. 电力系统特性

(1) 电力系统是一个有机的整体，电力系统任何一个主要设备运行情况的改变，都将影响整个电力系统的正常运行。

(2) 电力系统时刻处在动态平衡的相对稳定之中。发电厂发出的交流电不能直接存储，决定了电能的生产、输送分配和使用波形同时进行，而且要保持动态平衡。由于能量的转换是以功率的形式表现出来的，所以，要时刻保持电力系统的有功功率和无功功率的平衡。

有功功率平衡：发电厂发出的有功功率，扣除厂用电和网损之后，要与用户消耗的有功功率完全相等。如果有功功率多了，系统频率就会升高；反之就会降低。

我国规定频率标准为 50Hz、装机容量在 3000MW 以上的电网，频率偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。

无功功率平衡：无功功率产生于“容性装置”中（如发电机、调相器、电力电容器高压输电线路的充电电容）消耗在“感性装置”中（如异步电动机、电抗器、输电线路的电抗等）。无功功率的平衡体现在电压水平上，无功功率过剩电压升高，无功功率不足电压降低。

(3) 随机变化、实时调整。电力系统的运行状态是不断变化的动态，除了设备的计划停送电外，异常和事故对系统的冲击是随机的。正常情况下电力系统的负荷和机组出力的变化也是随机的。

电力系统的总负荷是由千千万万个电能用户的用电负荷叠加起来构成的。用电高峰（上午和晚上）和低谷（中午和夜间），负荷之差可达最大负荷 30%~50%。

(4) 发电出力的随机性。发电机组的出力不是固定不变的，有时需要人为调整。

### 1.3 发电厂、变配电所

发电厂是生产电能的工厂。它把其他形式的能源，如煤炭、石油、天然气、水能、原子能、风能、太阳能、地热、潮汐能等，通过发电设备转换为电能。我国以火力发电为主，其次是水力和原子能发电。

#### 1. 发电厂类型

##### 1) 火力发电厂

火力发电厂，简称火电站或火电厂，是指用煤、油、天然气等为燃料的发电厂，我国的火电厂以燃煤为主，为了提高燃料的热效率，现代火电厂都将煤块粉碎成煤粉燃烧，煤粉可以在炉膛内充分燃烧，将水烧成高温高压的水蒸气，推动汽轮机转动，带动与它连轴的发电机发电。其能量转换过程：燃料的化学能→热能→机械能→电能。

现代火电厂一般都考虑了“三废”（废水、废气、废渣）的综合利用，并且不仅发电，而且供热。这类兼供热能的火电厂称为热电厂或热电站。

##### 2) 水力发电厂

水力发电厂，简称水电厂或水电站，它是把水的位能和动能转变成电能的发电厂，主要是分为堤坝式水力发电厂和引水道式水力发电厂。

当控制水流的闸门打开时，水流沿着进水管进入水轮机室，冲动水轮机，带动发电机发电。其能量转换过程：水流位能→机械能→电能。

我国一些大型水电厂有葛洲坝、三门峡、三峡等水电站都属于这种类型。三峡水电站建成

后坝高为 185m，水位为 175m，总装机容量为 1820 万千瓦，年发电量 847 亿千瓦时（度），居世界首位。

### 3) 原子能发电厂

原子能发电厂又称为核电站，如我国的秦山、大亚湾、连云港核电站，是利用核裂变能量转化为热能，再按火电厂方式发电，只是它的“锅炉”为原子能反应堆，以少量的核燃料代替大量的煤炭。

其能量转换过程：核裂变能→热能→机械能→电能。由于核能是巨大的能源，而且核电站的建设具有重要的经济和科研价值，所以世界上很多国家都很重视核电站的建设，核电占整个发电量的比重逐年增长。

### 4) 其他类型发电厂

以地热、风力、潮汐等为一次能源的发电厂容量较小，分布在离这些一次能源较近的区域。另外，太阳能电站是一种较新型的电站，太阳能是一种绿色能源，取之不尽。但是已有的太阳能电站往往都很小，并受天气影响较大，发电量占总发电量的极小一部分。

## 2. 变配电所类型

发电厂通常建立在距离一次能源丰富或传输便利的区域，与电力用户有一定的距离。为了经济、可靠、快速地把电能从发电厂输送至用户，必须经过变电所升高电压，因此，升压变电所一般安装在发电厂中，不另设变电所。由于高压危险，距离用户较近时还须使经过变电所传送的高压降低，电网中的降压变电所的作用就是在传递电能的同时降低电压。所以，变电所是电力供应的中间转运站，用来提高或降低电压，向用电单位传送和分配电能。

### 1) 枢纽变电所

位于电力系统中汇集多个和多条重要的线路的枢纽点，在电力系统中具有极其重要的单位。高压侧多为 220~550kV，其高压侧各线路之间往往有巨大的交换功率。

### 2) 地区变电所

地区变电所是供电给一个地区的主要供电点。一般从 2~3 个输电线路受电，受电电压通常为 35~110kV，供电给中低压下一级变电所。

### 3) 工厂降压变电所及车间变电所

工厂降压变电所：一般大型工业企业均设工厂降压变电所，把 35~110kV 电压降为 6~10kV 电压向车间变电所供电。为了保证供电的可靠性，工厂降压变电所大多设置两台变压器，由单条或多条进线供电，每台变压器容量可从几千伏安到几万伏安。供电范围由供电容量决定，一般在几千米以内。

车间变电所：车间变电所将 6~10kV 的高压配电电压降为 380/220V，对低电压用电设备供电。供电范围一般在 500m 以内。

### 4) 终端变电所

终端变电所又称为二次变电站，多位于用电负荷中心，尽可能靠近用电多的地方。高压侧从地区降压变电所受电，经变压器降到 6~10kV，对某个市区或农村城镇用户供电。

## 3. 工厂供配电系统的组成系统图

### 1) 中型工厂供电系统的系统图

一般中型工厂电源进线电压是 6~10kV。电能先经高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所，或高压配电线路供给高压用电设备。车间变电所内装设有电力变压



器，将 6~10kV 的高压降为低压用电设备所需的电压（380/220V），然后由低压配电线路分送给各用电设备使用。

图 1-3 是一个比较典型的具有高压配电所的中型工厂供电系统的系统图。本图未绘出各种开关电器（除母线和低压联络线上装设的开关外），而且只用一根线来表示三相线路，即绘成单线图的形式。

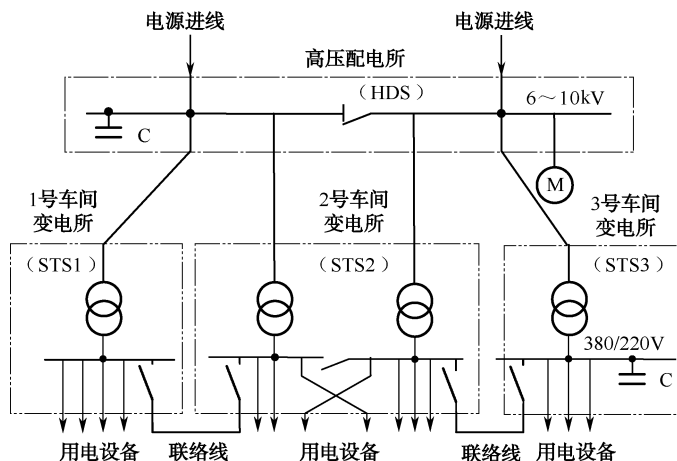
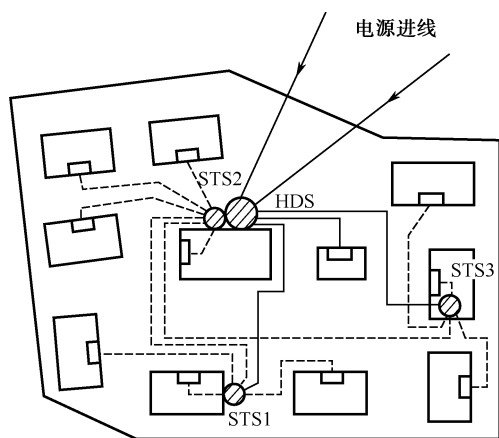


图 1-3 具有高压配电所的中型工厂供电系统的系统图

从图 1-3 可以看出，该厂的高压配电所有两条 6~10kV 的电源进线，分别接在高压配电所两段母线上。这两段母线间装设有一个分段隔离开关，形成了“单母线分段制”。在任一电源进线

发生故障或进行检修而被切除后，可以利用分段隔离开关来恢复对整个配电所的供电，即分段隔离开关闭合后由另一条电源进线供给整个配电所。这类接线的配电所通常的运行方式：分段隔离开关闭合，整个配电所由一条电源进线供电，其电源通常来自公共电网（电力系统），而另一条电源进线作为备用。通常由邻近的电源线路取得备用电源。



图例说明

- ⊗ 高压配电所（HDS） ⊗ 车间变电所（STS）
- 控制屏、配电屏 → 高压电源进线
- 高压配电线 - - - - 低压配电线

图 1-4 中型工厂供电系统的系统平面布线示意图

图 1-3 所示高压配电所有四条高压配电线，供给三个车间变电所，其中 1 号车间变电所和 3 号车间变电所都只装有一台配电变压器，而 2 号车间变电所装有两台，并分别由两段母线供电，其低压侧又采用单母线分段制，因此，对重要低压用电设备可由两段母线交叉供电。车间变电所的低压侧，设有低压联络线相互连接，以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外，该高压配电所还有一条高压配电线，直接供电给一组高压电动机；另一条高压线，直接与一组并联电容器相连。3 号车间变电所低压母线上也连接有一组并联电容器。这些

并联电容器都是用来补偿无功功率，提高功率因数的。图 1-4 是图 1-3 所示的工厂供电系统的系统平面布线示意图。

## 2) 大型工厂供电系统的系统图

对于大型工厂及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型工厂，一般经过两次降压。也就是电压进厂以后，先经总降压变电所，其中装有较大容量的电力变压器，将 35kV 及以上的电压降为 6~10kV 的配电电压，然后通过高压配电线将电能送到各车间变电所，也有的经高压配电所再送到车间变电所最后经配电变压器降为一般电压用电设备所需的电压，其系统图如图 1-5 所示。

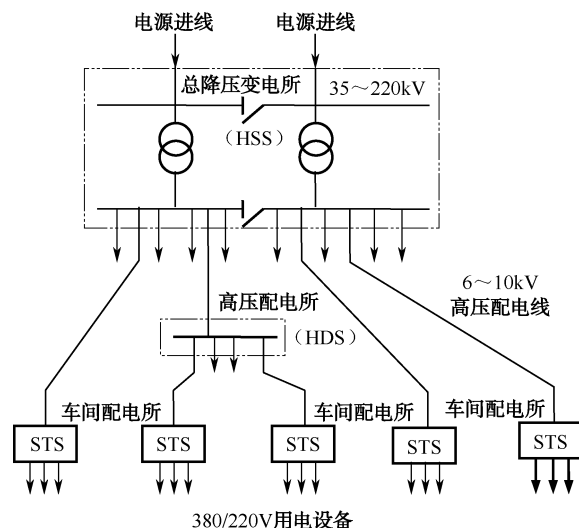


图 1-5 具有总降压变电所的工厂供电系统图

## 3) 高压深入负荷中心的一次变配电系统图

有的 35kV 进线的工厂，只经一次降压，即 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所，经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需的电压，如图 1-6 所示。这种供电方式，称为高压深入负荷中心的直配式。这种直配方式，可以省去一级中间变压，从而简化供电系统接线，节约了投资和有色金属，降低了电能损耗和电压损耗提高了供电质量。而且适应电力负荷的发展。然而这要求根据厂区的环境条件是否满足 35kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”要求而定，否则不易采用，以确保供电安全。

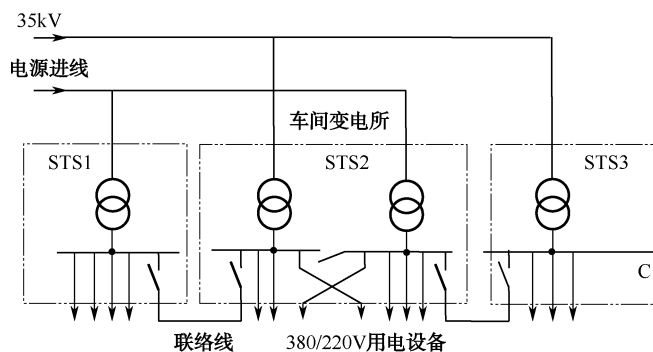


图 1-6 高压深入负荷中心的工厂配电系统图

#### 4) 小型工厂供电系统的系统图

对于小型工厂，由于所需容量不大于  $1000\text{kV} \cdot \text{A}$  或稍多，因此，通常只设一个降压变电所，将  $6\sim 10\text{kV}$  电压降为用电设备所需的电压，如图 1-7 所示。

如果工厂所需容量不大于  $160\text{kV} \cdot \text{A}$  时，一般采用低压电源进线，因此，工厂只需设一低压配电间，如图 1-8 所示。

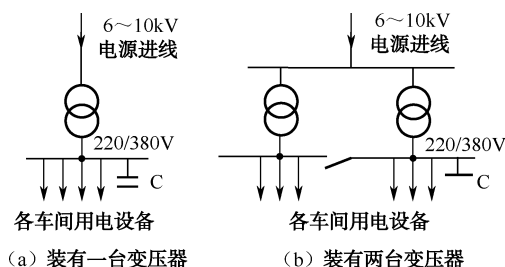


图 1-7 只设一个降压变电所的工厂配电系统图

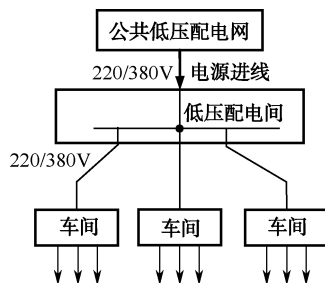


图 1-8 低压进线的小型工厂配电系统图

#### 5) 输送电网

电力系统中各级电压的电力线路及与其连接的变电所总称为电力网，简称电网。电力网是电力系统的一部分，是输电线路和配电线路的统称，是输送电能和分配电能的通道。电力网是把发电厂、变电所和电能用户联系起来的纽带。

### 1.4 电力系统中性点的运行方式

在电力系统中，当变压器或发电机的三相绕组为星形连接时，其中性点可有两种运行方式：中性点接地和中性点不接地。中性点直接接地系统常称为大电流接地系统，中性点不接地和中性点经消弧线圈（或电阻）接地的系统称为小电流接地系统。

我国  $220/380\text{V}$  低压配电系统，广泛采用中性点直接接地的运行方式，而且引出有中性线（代号 N）、保护线（代号 PE）或保护中性线（代号 PEN）。

中性线（N 线）：一是用来提供额定电压为相电压的单相用电设备电能；二是用来传导三相系统中的不平衡电流和单相电流；三是减小负荷中性点的电位偏移。

保护线（PE 线）：是为保障人身安全，防止发生触电事故用的接地线。系统中所有设备的外露可导电部分（指正常不带电压但故障情况下能带电压的易被触及的导电部分，如金属外壳、金属构架等）通过保护线（PE 线）接地，可在设备发生接地故障时减小触电危险。

保护中性线（PEN 线）兼有中性线（N 线）和保护线（PE 线）的功能：这种保护中性线在我国称为“零线”，俗称“地线”。

中性点运行方式的选择主要取决于单相接地时电气设备绝缘要求及供电可靠性。图 1-9 所示列出了常用的中性点运行方式，图中电容 C 为输电线路对地分布电容。

##### 1. 中性点直接接地方式

中性点直接接地方式发生一相对地绝缘破坏时，就构成单相短路，供电中断，可靠性会降低。但是这种方式下的非故障相对地电压不变，电气设备绝缘按相电压考虑，降低设备要求。此外，在中性点直接接地的低压配电系统中，如三相四线制供电，可提供  $380\text{V}$  或  $220\text{V}$  两种电压，供电方式更为灵活。中性点直接接地系统主要有以下几个特点：

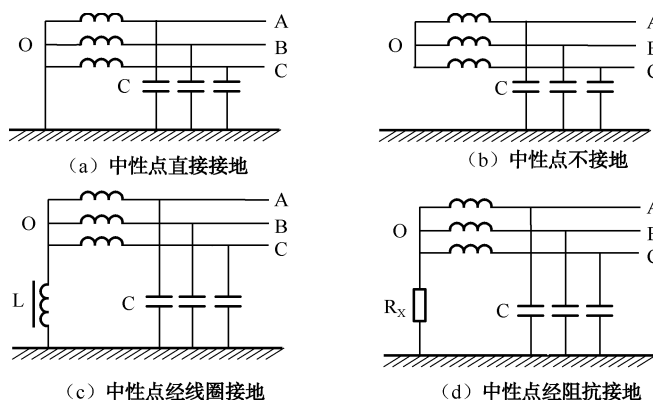


图 1-9 电力系统中性点运行方式

(1) 当发生单相接地故障时, 形成单相短路, 由于短路电流较大, 保护装置动作, 立即切断电源, 使系统中非故障部位迅速恢复正常运行。

为了减少单相接地故障引起停电次数, 在高压系统中普遍采用的是自动重合闸装置。当发生单相接地故障时, 在保护装置下跳闸, 经过一段时间后自动合闸送电, 若为瞬间单相接地故障, 则用户供电即可得到恢复; 若为永久性单相接地故障, 则保护动作再次跳闸停电并被锁住。

(2) 中性点直接接地后, 中性点经常保持零电位。在发生单相接地时, 其他非故障两相电压不会升高, 因此, 用电设备的相对地绝缘可只需要按照相电压考虑, 从而降低设备和电网造价, 网络电压越高, 其经济效益越显著。

(3) 单相接地时, 短路电流很大, 这将引起电压降低, 以至于影响整个系统的稳定, 这在高压系统比较明显。

根据以上特点, 我国 110kV 及其以上电网多采用中性点直接接地的运行方式。

## 2. 中性点不接地方式

### 1) 中性点不接地系统的正常运行

中性点不接地系统正常运行时, 电力系统的三相导线之间及各相对地之间, 沿导线全长都分布有电容, 这些电容在电压作用下将有附加电容电流流过。为了便于分析, 可认为三相系统是对称的, 对地电容电流可集中线路中央的电容来代替, 相间电容可不予考虑, 因为三相对地电容电流是平衡的, 因此, 三个相的电容电流的矢量和为零, 没有电流在地中流动。各相对地电压, 就等于各相的相电压, 如图 1-10 所示。

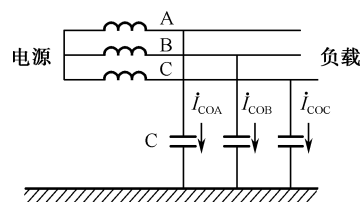


图 1-10 正常运行时中性点不接地

### 2) 系统发生单相接地

当中性点不接地系统由于绝缘损坏发生单相接地时, 各相对地电压和电容电流的情况都发生明显变化。我们以金属性接地故障为例进行分析。

金属性接地又称完全接地。设 C 在 K 点 (图 1-11) 发生单相接地, 此时 C 相对地电压为零。而中性点对地电压不再为零, 即

$$\dot{U}'_N = -\dot{U}_C$$

B 相对地电压为

A 相对地电压为

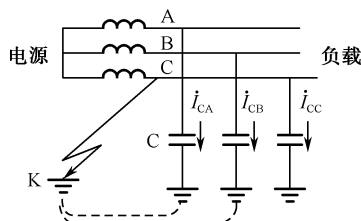


图 1-11 中性点不接地系统单相接地

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_C$$

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_C$$

中性点不接地系统单相接地情况如图 1-11 所示。

显然，中性点不接地系统发生单相接地故障时，线电压不变而非故障相对地电压升高到原来相电压的  $\sqrt{3}$  倍，即升至为线电压数值。因此，非故障相对地电压的升高，又造成对地电容电流相应增大，各相对地电容电流分别升至为  $\dot{I}'_{CA}$ 、 $\dot{I}'_{CB}$ 、 $\dot{I}'_{CC}$ ，C 相在 K 的对地短路电流为  $\dot{I}'_C$ ，而  $\dot{I}'_{CC} = 0$ ，则  $\dot{I}'_C$  在相位上正好超前  $\dot{U}_C 90^\circ$ ；而在数值上，由于  $\dot{I}_C = \sqrt{3}\dot{I}_{CA}$ ，

而

$$I_{CA} = U'_A / X_C = \sqrt{3}U_A / X_C = \sqrt{3}I_{CC}$$

因此

$$I_C = \sqrt{3}I_{CA} = \sqrt{3}\sqrt{3}I_{CC} = 3I_{CC}$$

结论：单相接地时接地点的短路电流是正常运行的单相对地电容电流的 3 倍。

### 3) 中性点不接地系统的适用范围

中性点不接地方式一直是我国配电网采用最多的一种方式。该接地方式在运行中如发生单相接地故障时，线电压不变，非故障相对地电压升高到原来相电压的  $\sqrt{3}$  倍，故障电容电流增大到原来的 3 倍。因此，当中性点不接地系统的电力系统中发生单相接地时，三相用电设备的正常工作并未受到影响，因为修路的线电压无论相位还是数值均未发生变化，因此，三相设备仍能正常运行（当 35kV、10kV 电网限制在 10A 以下时，若是接地电流很小的瞬间，故障一般能自动消除）。但是这种线路不允许在单相接地故障下长期运行，一般要求不超过 2h。因为如果再有一相又发生接地故障时，就形成流向短路，短路电流很大，这是不允许的。因此，对中性点不接地的电力系统，注意电气设备的绝缘要按照线电压来选择。而且应该专门装设单相保护接地或绝缘监视装置，在系统发生单相接地故障时给予报警信号，提醒值班人员注意，及时处理。

目前，我国中性点不接地的适用范围如下：

- (1) 电压等级在 500V 以下的三相三线制系统；
- (2) 3~10kV 系统接地电流小于或等于 30A 时；
- (3) 20~35kV 系统接地电流小于或等于 10A 时；
- (4) 与发电机有直接电气联系的 3~20kV 系统，如要求发电机带单相接地故障运行，则接地电流应小于或等于 5A 时。

### 3. 中性点经消弧线圈接地系统

中性点经消弧线圈接地系统如图 1-12 所示。

当系统发生单相接地（设 C 相）短路故障时，C 相对地电流为  $\dot{I}_C$ ，流过消弧线圈的电流为  $\dot{I}_L$ ，且  $\dot{I}_C + \dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB} - \dot{I}_L = 0$ 。

因此



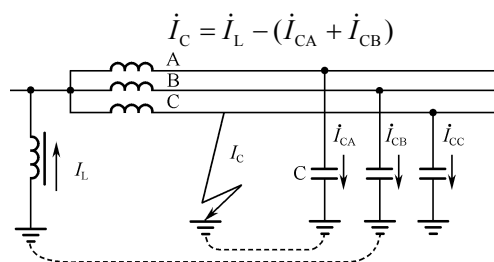


图 1-12 中性点经消弧线圈接地系统单相接地

由此可知，单相接地短路电流是电感电流与其他两相对地电容电流之差，选择适当大小消弧线圈电感  $L$ ，可使  $I_C$  值减小。

中性点采用消弧线圈接地方式，就是在系统发生单相接地故障时，消弧线圈产生电感补偿单相接地电容电流，以使通过接地点电流减小从而能自动灭弧。消弧线圈接地方式在技术上不仅拥有了中性点不接地系统的所有优点，而且还避免了单相故障可能发展为两相或多相故障，产生过电压损坏电气设备绝缘和烧毁电压互感器等危险。

在各级电压网络中，当单相接地故障时，通过故障点的总的电容电流超过下列数值时，必须尽快安装消弧线圈：

- (1) 对 3~6kV 电网，故障点总电容电流超过 30A；
- (2) 对 10kV 电网，故障点总电容电流超过 20A；
- (3) 对 22~66kV 电网，故障点总电容电流超过 10A。

#### 4. 低压配电系统的中性点运行方式

低压配电系统，按保护接地形式，分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

(1) TN 系统：系统中所有设备的外露可导电部分均接公共保护线（PE 线）或公共的保护中性线（PEN 线）。这种接公共 PE 线或 PEN 线的方式就是前面所称的“接零”。如果系统中的 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线，则称此系统为 TN-C 系统，如图 1-13（a）所示。如果系统中的 N 线与 PE 线全部分开，则此系统称为 TN-S 系统，如图 1-13（b）所示。如果系统的前一部分，其 N 线与 PE 线合为 PEN 线，而后一部分线路，N 线与 PE 线则全部或部分分开，则此系统称为 TN-C-S 系统，如图 1-13（c）所示。

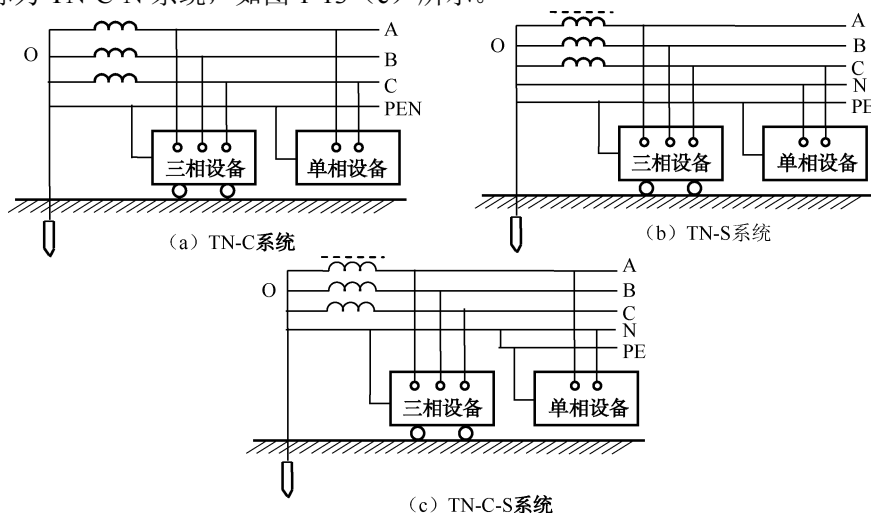


图 1-13 TN 系统

(2) TT 系统: TT 系统中所有设备的外露可导电部分均各自经 PE 线单独接地, 如图 1-14 所示。

(3) IT 系统: IT 系统中所有设备的外露可导电部分也都各自经 PE 线单独接地, 如图 1-15 所示。它与 TT 系统不同的是, 其电源中性点不接地或经  $1000\Omega$  阻抗接地, 且通常不引出中性线。

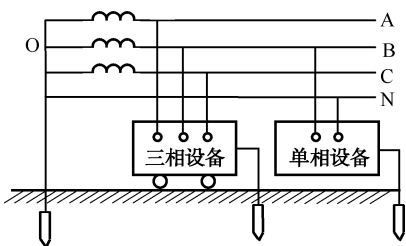


图 1-14 TT 系统

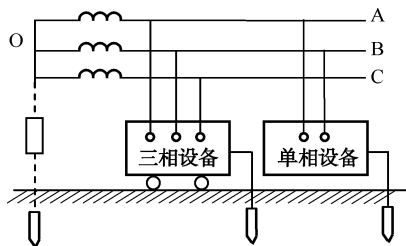


图 1-15 IT 系统

凡引出有中性线的三相系统, 包括 TN 系统、TT 系统, 属于三相四线制系统。没有中性线的三相系统, 如 IT 系统, 属于三相三线制系统。

## 1.5 电能用户与用电负荷的分类

所有的用电单位均称为电能用户, 其中主要是工业企业。我国工业企业用电占全年发电量的 60% 以上, 是最大的电能用户。

工业企业的电力负荷种类多, 容量相差悬殊, 运行特征也各种各样, 用电设备的这些不同特征关系到供电技术措施的确定。

工厂内广泛采用使用的空压机、通风机、破碎机、水棒、球磨机、搅拌机、制氧机及润滑油棒等机械的拖动电动机, 不论其功率大小 (从几十瓦到几千千瓦) 及电压的高低 ( $380\text{V}\sim 10\text{kV}$ ), 一律为三相交流电动机, 它们都是恒速持续运行各种的用电设备。这些设备在正常运行时, 负荷基本上均匀而且对称, 功率因数也很稳定, 一般可达  $0.8\sim 0.85$ 。

有一些生产机械, 如烧结机、连续铸管机、回转窑等, 它们的拖动电动机也是持续运行的, 负荷性质基本上稳定。但是这些机械在运转中要求调速, 多采用易调速的直流电动机拖动系统, 因此, 这些设备要增加变流环节, 而且功率因数也会变低。

提升机、高炉卷扬机、各种轧钢机及工厂大量使用的行车等的拖动电动机, 各种运转时间与停转或空转时间交互更替, 这类设备呈周期性工作, 其负荷时刻在变化, 是供电系统的不稳定负荷, 经常处于低负载状态, 功率因数也偏低, 一般在  $0.5\sim 0.6$  以下, 这类用电设备属于供电系统不良用户。

工业用电炉分为电弧炉、电阻炉和感应电炉。电弧炼钢炉是工厂常用的一种大容量用电设备, 单台容量可达  $10000\sim 20000\text{kW}$ 。在精炼期间, 三相负荷均匀对称。电弧炉的负荷性质基本上接近于阻性, 功率因数也很高, 一般可达  $0.85$  以上。

电解设备是提炼有色金属的主要设备, 容量可达数万千瓦, 是工业中耗用电量最大的用户。工作负荷均匀稳定, 功率因数较高 ( $0.8\sim 0.9$ ), 且不允许停电。

电焊设备分为交流电焊和直流电焊两种, 交流电焊有单相和三相之分, 常用的交流电焊设备是工频单相电焊机, 它主要用于弧焊和点焊, 供电电压为  $380\text{V}$  或  $220\text{V}$ , 工作时负荷情况不均匀功率因数很低。电焊设备为移动性设备, 使用时皆为临时接线供电。

工厂的照明设备有固定式和移动式之分,但均为单相而恒定的负荷,照明负荷的功率因数很高,通常为 $0.9\sim 1.0$ ,照明虽然属于稳定负荷,但整个地区或企业的照明设备同时集中接电也会造成系统出现尖峰负荷,故应重视节约照明用电。

## 1.6 电力系统供电质量和改进措施

### 1. 供电质量的主要指标

对工厂用户而言,衡量供电质量的主要指标是指交流电的电压和频率。

#### 1) 电压

交流电的电压质量包括电压数值与波形两个方面。电压质量对各类用电设备的工作性能、使用寿命、安全及经济运行都有直接的影响。用电设备在其额定电压下工作,既能保证设备正常运行,又能获得最大的经济效益。

电网的电压偏差过大时,不仅影响电力系统的正常运行,而且对用电设备的危害很大。

以照明的白炽灯为例,当加在灯泡上的电压低于其额定电压时,发光效率降低,使人身体健康受到影响,降低劳动生产率。白炽灯的端电压降低 $10\%$ ,发光效率下降 $30\%$ 以上,灯光明显变暗;端电压升高 $10\%$ 时,发光效率将提高 $1/3$ ,但使用寿命将只有原来的 $1/3$ 。例如,某车间由于夜间电压比额定电压高 $5\%\sim 10\%$ ,致使灯泡损坏率达 $30\%$ 以上电压偏差对荧光灯等气体放电灯的影响不像白炽灯那么明显,但也会影响起燃,同样影响照度和寿命。

感应电动机的最大转矩与端电压的平方成正比,当电压降低时,转矩急剧减小,以致转差率增大,从而使定子、转子电流都显著增大,引起温升增加,绝缘迅速老化,甚至烧毁电动机。例如,当电压降低 $20\%$ ,转矩降低到额定值的 $64\%$ ,电流增加 $30\%\sim 35\%$ ,温度升高 $12\%\sim 15\%$ 。由于转矩减小,使电动机转速降低,甚至停转,导致工厂产生废品,甚至导致重大事故。

电热装置的功率与电压平方成正比,电压过高将损伤设备,电压过低又得不到所需温度。

对于三相系统来说,三相电压与电流的不对称也影响电能质量。这种不对称运行对发电设备、用电设备、自动控制及保护系统、通信信号等都会产生不良影响。低压供电系统发生三相不对称会造成中性点偏移,甚至危及人身及设备安全。

电力系统的供电电压(或电流)的波形畸变,使电能质量下降,产生高次谐波,谐波电流增加了电网的能量损耗,降低旋转电动机、变压器、电缆等电气元件的寿命,还将影响电子设备的正常工作,使自动化、通信都受到干扰。

#### 2) 频率

我国工业标准电流频率为 $50\text{Hz}$ 。

根据 GB/T15945—1995 规定:在电力系统正常工作情况下,电能频率的允许偏差:电网装机容量为 $300$ 万千瓦以上时,为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ;电网装机容量为 $300$ 万千瓦以下时,为 $\pm 0.5\text{Hz}$ ;在电力系统非正常情况下,供电频率允许偏差不应超过 $\pm 1.0\text{Hz}$ 。

频率调整主要依靠发电厂调节发电机的转速来实现,在供配电系统中,频率是不可调的,只能通过提高电压的质量来提高供配电系统的电能质量。

### 2. 额定电压的国家标准

工厂电网和电气设备额定电压可以是不同的电压等级,但均应符合国家关于额定电压的规定。根据我国国民经济发展的需要和技术经济上的合理性,为使电气设备实现标准化和系列化,国家规定了交流电网和电力设备的额定电压等级,见表 1-1。

表 1-1 我国交流电网和电力设备的额定电压 (kV)

电网和用电设备额定电压	交流发电机额定电压	变压器额定电压	
		一 次 电 压	二 次 电 压
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
35	—	35	38.5
60	—	60	66
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	550

从表 1-1 中我们可以看出下列特点:

(1) 用电设备的额定电压和电网的额定电压是一致的, 由于用电设备运行时要在线路中产生电压损耗, 造成线路上各点的电压略有不同, 如图 1-16 所示, 但是成批生产的用电设备, 其额定电压只能按照线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压来制造。所以用电设备额定电压规定与电网额定电压相同。

(2) 由于同一电压的线路, 一般允许的电压偏差是 $\pm 5\%$ , 即整个线路允许有 10% 的电压损耗。因此, 为了保护线路首端与末端的平均电压在额定值, 线路首端应比电网的额定电压高 5%, 如图 1-17 所示。而发电机接在线路首端, 所以规定发电机的额定电压高于所供电网额定电压 5%, 用于补偿线路电压损失。

(3) 变压器的一次线圈连接在某一级额定电压线路的末端, 可将变压器看作是线路上的用电设备, 因此, 在一次侧额定电压与用电设备 (或该电网) 的额定电压相同, 如图 1-17 中的变压器  $T_2$ 。但如果变压器直接与发电机相连时, 其一次侧额定电压就应与发电机额定电压相同, 即比电网得到的电压要高 5%, 如图 1-17 中的变压器  $T_1$ 。

(4) 变压器的二次侧线圈向负荷供电, 相当于应该供电电源, 其二次绕组额定电压也应高出线路额定电压 5%。又由于变压器二次绕组额定电压规定为变压器的空载电压, 而变压器通过额定负荷电流时, 其逆变绕组会有 5% 的电压损失。因此, 如果变压器二次侧供电线路较长 (如为大容量的高压电网), 则变压器而绕组的额定电压, 一方面要考虑补偿变压器内部 5% 的电压损失, 另一方面要考虑变压器满载时输出的二次电压还要高于线路的额定电压的 5%, 以补偿线路上的电压损耗, 所以它要比线路额定电压高出 10%, 如图 1-17 中的变压器  $T_1$ 。如果变压器二次侧线路不太长 (如低压电网), 则变压器二次侧额定电压只需高于线路额定电压的 5%, 仅考虑补偿变压器逆变压降, 如图 1-17 中的变压器  $T_2$ 。

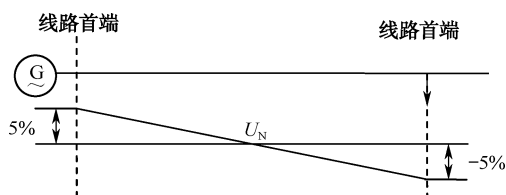


图 1-16 用电设备和发电机的额定电压说明

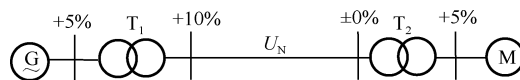


图 1-17 电力变压器的额定电压

### 3. 提高电能质量的措施

电能质量的提高，在工矿企业中通常采用以下措施：

- (1) 就地进行无功功率补偿，及时调整无功功率补偿量。
- (2) 调整同步电动机的励磁电流，使其超前或滞后运行，产生超前或滞后的无功功率，以达到改善系统功率因素和调整电压偏差的目的。
- (3) 正确选择有载或无载调压变压器的分接头（开关），以保证设备端电压稳定。
- (4) 尽量使系统的三相负荷平衡，以降低电压偏差。
- (5) 采用电抗值最小的高低压配电线路方案。架空线的电抗约为  $0.4\Omega/\text{km}$ ；电缆线路的电抗约为  $0.8\Omega/\text{km}$ 。条件许可下，应尽量优先采用电缆线路供电。

工矿企业抑制电压波动的措施如下：

- (1) 对负荷变动剧烈的大型电气设备，采用专用线路或专用变压器单独供电。
- (2) 减小系统阻抗。使系统电压损耗减小，从而减小负载变化时引起的电压波动。
- (3) 在变、配电所配电线路出口加装限流电抗器，限制线路故障时的短路电流，减小电压波动范围。
- (4) 对大型电动机进行个别补偿，使其在整个负荷范围内保持良好的功率因数。
- (5) 在低压供配电系统中采用电力稳压器稳压，确保用电设备的周期运行。

目前，随着电力电子技术、控制技术、网络技术的发展与应用，利用计算机实现对供配电系统的实时监控，从而能够在计算机屏幕上自动显示电压波动信息、波动幅值及频率、电压波动地点及抑制措施等。

### 4. 工厂供配电电压的选择

#### 1) 工厂供电电压的选择

地区变电所向工厂供电的电压及工厂内部的供配电电压的选择与很多因素有关，但主要取决于地区电力网的电压、工厂用电设备的容量和输送距离等。提高送电电压可以减少电能损耗，提高电压质量，节约有色金属，但却增加了线路及设备投资，所以对对应一个电压等级要有一个合理的输送容量与输送距离。常用各级电压的经济输送容量与输送距离的关系见表 1-2。

表 1-2 常用各级电压的经济输送容量与输送距离

线路电压/kV	输送功率/kW	输送距离/km
0.38	100 以下	0.6
3	100~1000	1~3
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20



续表

线路电压/kV	输送功率/kW	输送距离/km
35	2000~10000	20~50
110	10000~50000	50~150
220	100000~500000	100~300

工厂供电电压基本上只能选择地区原有电压,自己另选电压等级的可能性不大,具体选择时参考表 1-2,即:

(1) 对于一般没有高压用电设备的小型工厂,设备容量在 100kW 以下,输送距离在 600m 以内的,可选用 380/220V 电压供电。

(2) 对于中、小型工厂,设备容量在 100~2000kW,输送距离在 4~20km 以内的可采用 6~10kV 电压供电。

(3) 对于大型工厂,设备容量在 2000~50000kW,输送距离在 20~150km 以内的,可采用 35~110kV 电压供电。

## 2) 工厂配电电压的选择

工厂的高压配电电压一般选用 6~10kV。6kV 与 10kV 比较,在变压器、开关设备的投资大致相等,传输相同功率情况下,10kV 线路可以减少投资,节约有色金属,减少线路电能损耗和电压损耗,更适应发展,所以工厂内一般选用 10kV 作为高压配电电压。但是如果工厂供电电源电压就是 6kV,或工厂使用的 6kV 电动机多而且分散,可以采用 6kV 的配电电压。3kV 的电压等级太低,作为配电电压不经济。

工厂的低压配电电压,除因安全所规定的特殊电压外,一般采用 380/220V。380V 为三相配电电压,供电给三相用电设备及 380V 单相用电设备,220V 作为单相配电电压,供电给一般照明灯具及 220V 单相用电设备。对矿山及化工等部门,因其负荷中心离变电所较远,为了减少线路电压损耗和电能损耗,提高负荷端的电压水平,也有采用 660V 配电电压。

## 1.7 工厂供配电系统的构成及布置

根据用户对供配电系统的基本要求,合理选择和布置工厂配电系统的电气设备、继电保护、控制方式和测量仪表,可最大限度地提高供配电系统运行的经济性和可靠性。

### 1. 工厂配电系统的构成

#### 1) 用电负荷分类

为了合理地选择供电电源及设计供电系统,以适应不同的要求,我国将工业企业的电力负荷按其可靠性要求的不同划分为一级负荷、二级负荷和三级负荷。

(1) 一级负荷。一级负荷在供电突然中断时将造成人身伤亡的危险,或造成重大设备损坏且难以修复,或给国民经济带来极大损失。因此,一级负荷应要求两个独立电源供电。而对特别重要的一级负荷,应由两个独立电源点供电。

两个独立电源是指当采用两个电源向工厂供电时,如果任一电源因故障而停止供电,另一电源不受影响,能继续供电,那么这两个电源每一个都称为独立电源。凡同时具备下列两个条件的发电厂、变电站的不同母线均属于独立电源:

① 每段母线的电源来自不同的发电机。

② 母线段之间无联系，或虽有联系，但当其中一段母线发生故障时，能自动断开联系，不影响其余母线继续供电。

例如，省级以上计算机中心、交通和通信枢纽，高等学校重要实验室、监狱、电解加工厂、电炉炼钢厂、大型化工企业。

(2) 二级负荷。二级负荷如果突然断电，将造成生产设备局部破坏，或生产流程紊乱且难以恢复，工厂内部运输停顿，出现大量废品或减产，因而在经济上造成一定损失。这类负荷允许短时停电几分钟，它在工业企业内部占的比例最大。

例如，省级以上政府办公楼、高层住宅、热力或煤气站、手术室、大型商业中心。

供电要求：应由两回路线供电，这两回路线应尽可能引自不同的变压器或母线，当采用两回路线有困难时，允许由一回专用路线供电。

(3) 三级负荷。所有不属于一级负荷和二级负荷的电力用户均属于三级负荷。

三级负荷对供电无特殊要求，允许较长时间停电，可采用单回路供电。

## 2) 企业配电系统的组成

供配电系统一般由电力变压器、配电装置、保护装置、操作机构、自动装置、测量仪表及附属设备构成。

(1) 电力变压器。在供配电系统中的作用：将一种电压的电能转变为另一种或几种电压的电能供给用电单位。变电所或配电房中的电力变压器，通常是将高压转变为低压电能，馈电给用电设备。

(2) 配电装置。其作用是接受和分配电能。配电装置包括母线、开关、断路器、操作机构、自动装置、测量仪表、仪用互感器等。供配电系统中的保护装置也属于配电装置，按其工作电压的不同又可分为高压配电装置和低压配电装置。

## 2. 工厂配电系统布置

配电所与变电所的区别主要是没有电力变压器，只是接受和分配同级电压。

大型工厂因用电量大，其进线电压通常为 35~110kV，一般需要设两级变电，第一级是将 35~110kV 变为 10kV，进行高压配电；第二级是将 6~10kV 变为 400V（即 220/380V）低压，供给各用电设备。

对于中小型用户，工厂变电所进线电压多为 6~10kV，只需要一级变电。对低压（通常电压小于 1000V 的电网称为低压系统，电压高于 1000V 的电网称为高压系统）系统来说，我国广泛采用电源中性点直接接地的三相系统，称为三相四线制系统。

在该系统中，台电力变压器的二次侧可以获得两种电压 220V 和 380V（这里 220V 是指三相线路的相电压，380V 是指线电压）。

### 1) 工厂变电所的分类

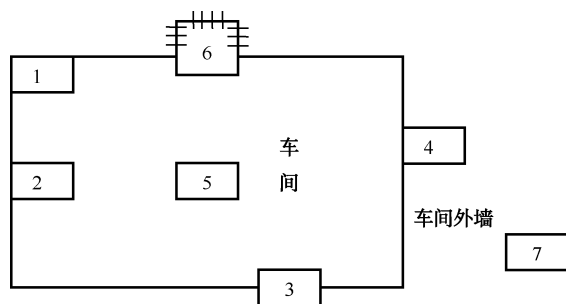
工厂变电所按其结构不同主要分为以下两种：

(1) 户内式。变压器及一、二次侧电气设备和控制装置均装设于室内。一般 6~10kV 级的工厂变配电所大都采用这种形式。

(2) 户外式。变压器及其一次侧高压电气设备均装设于室外，其二次侧电气设备和控制装置仍装设于室内。35kV 及以上的变电所属于此种形式。有时将用电量不大的（一般为 315kW 以下）的 6~10kV 电力变压器装在户外电杆的专设台架上，称为杆上变电站。

工厂变电所按其所处位置不同，也可分为以下几种：独立变电所、内附变电所、外附变电

所、车间内变电所，如图 1-18 所示。



1、2—内附变电所；3、4—外附变电所；5—车间内变电所；6—露天变电所；7—独立变电所

图 1-18 车间变电所类型

工厂变配电所多采用独立变电所形式，一般靠近主要负荷中心（车间）。也有采用外附形式的。变电所的高压 6~10kV，低压（220/380V 级）配电装置及电力变压器都设置在室内。由高压配电室、变压器室、低压配电室（含功率因数补偿）、值班室等组成。

## 2) 工厂变配电所位置的选择

工厂变配电所的位置，必须根据工厂电力负荷的类型、大小和分布情况、工厂发展规划，以及厂区的内部环境特征等，经全面分析后才能确定。选择通常必须符合以下原则：

- (1) 尽量接近负荷中心，以减少输电线路的长度与导线的截面，减少有色金属消耗量，降低配电系统的电压损耗、电能损耗，保证电能质量。
- (2) 接近电源侧。
- (3) 电源进、出线方便。
- (4) 设备运输、安装方便。
- (5) 避开剧烈震动、高温场所，避开多尘、有腐蚀性气体场所，避开有爆炸、火灾危险的场所。
- (6) 尽量使高压配电所与车间变电所合建。
- (7) 为工厂的负载和负荷的增加留有扩建的余地。

## 实操训练 1 参观发电厂和变配电所

### 1. 参观准备

联系参观单位，安排电气技术人员为学生介绍参观内容，组织学生集中行动，发放安全帽，提出参观要求和安全注意事项。

### 2. 供配电系统参观

#### 1) 参观目的

通过参观，使学生初步了解发电厂的发电、变电及输送电过程，了解电力变电所或工业企业变配电所的结构及布置方式，辨识发电厂和变、配电所电气设备的外形和名称，对供配电系统形成初步的感性认识。

#### 2) 参观内容

(1) 参观火力发电厂的发电机主厂房、主控制室、配电装置、主变压器室；参观变电所屋内配电装置和屋外配电装置。由电厂或变、配电所电气工程师或技术人员介绍发、配电过程或

变、配电所的整体布置情况及电气一次系统图，电气一次设备实际布置和连接情况。

(2) 参观工厂企业配电室的高压开关柜和低压配电屏运行情况；参观开关厂生产的高、低压开关柜内开关电气设备及其连接方式。由企业电气工程师或技术人员介绍高压配电室、低压配电室、变压器室及高压开关设备等供配电系统一次设备的工作情况、倒闸操作过程、运行维护内容及故障处理措施。

### 3) 注意事项

参观时一定要服从指挥注意安全，未经允许不得进入禁区，不允许随便触摸任何电气按钮，以防发生意外。

## 1.8 问题与思考

### 一、判断题（正确的打√，错误的打×）

1. 电力系统就是电网。 ( )
2. 发电厂与变电所距离较远，一个是电源，一个是负荷中心，所以频率不同。 ( )
3. 火力发电是将燃料的热能转变为电能的能量转换方式。 ( )
4. 中性点不接地的电力系统在发生单相接地故障时，可允许继续运行 2h。 ( )
5. 三级负荷对供电无特殊要求。 ( )
6. 我国采用的中性点工作方式有中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地和中性点不接地。 ( )
7. 我国 110V 及以上电网多采用中性点不接地的运行方式。 ( )
8. 我国低压配电系统常采用 TT 的中性点连接方式。 ( )
9. 原子能发电厂的发电过程是核裂变能—机械能—电能。 ( )
10. 车间变电必须要设置两台变压器。 ( )
11. 车间内电气照明线路和动力线路可以合并使用。 ( )
12. 事故照明必须有可靠的独立电源供电。 ( )
13. 在工厂中，一、二级负荷所占的比例较大。 ( )
14. 变压器二次侧额定电压要高于后面所带电网额定电压的 5%。 ( )
15. 工厂配电电压常用 10kV。 ( )

### 二、选择题（选择正确的选项填入括号内）

16. 我国低压配电系统常用的中性点连接方式是 ( )。  
A. TT 系统      B. TN 系统      C. IT 系统      D. ON 系统
17. 工厂低压三相配电电压一般选择 ( )。  
A. 380V      B. 220V      C. 110V      D. 660V
18. 图 1-19 所示的电力系统，变压器 T3 一次侧额定电压为( )，二次侧额定电压为( )。

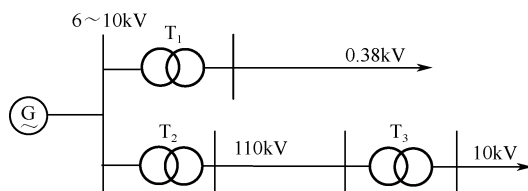


图 1-19 题 18 图

- A. 110kV                      B. 121kV                      C. 10kV                      D. 11kV
19. 车间变电所的电压变换等级一般为 ( )。
- A. 把 220~550kV 降为 35~110kV  
B. 把 35~110kV 降为 6~10kV  
C. 把 6~10kV 降为 220/380V
20. 单台变压器容量一般不超过 ( )。
- A. 500kV · A                      B. 1000kV · A                      C. 2000kV · A
21. 6~10kV 系统中, 如果发生单相接地事故, 可 ( )。
- A. 不停电, 一直运行                      B. 不停电, 只能运行 2h                      C. 马上停电
22. 选择正确的表示符号填入括号内。中性线( ), 保护线( ), 保护中性线( )。
- A. N                      B. PE                      C. PEN
23. 请选择下列设备可能的电压等级: 发电机 ( ), 高压输电线路 ( ), 电气设备 ( ), 变压器二次侧 ( )。
- A. 10kV                      B. 10.5kV                      C. 380V  
D. 220kV                      E. 11kV
24. 对于中、小型工厂, 设备容量在 100~2000kW, 输送距离在 4~20km 以内, 可采用 ( ) 电压供电。
- A. 380/220V                      B. 6~10kV                      C. 35kV                      D. 110kV 及以下

### 三、技能题

25. 什么是动力系统? 什么是电力系统? 什么是电力网?
26. 电力系统为什么要求“无功功率平衡”? 如果不平衡, 会出现什么情况?
27. 一次能源包括哪些? 电能是一次能源吗?
28. 枢纽变电所和一般变所有哪些区别?
29. 电力系统中性点接地方式有哪几种? 采用中性点不接地系统有什么优缺点?
30. 衡量电能质量的两个重要指标是什么?
31. 用户电能的频率是通过什么环节进行调整的? 在供配电系统中频率可调吗?

## 项目2 一次设备的运行与维护

### 【教学目标】

工厂变配电所是工厂供配电系统的枢纽。通过学习使学生掌握工厂变配电所的作用、类型、变配电所位置确定的原则；掌握变配电所中常用的高、低压电器的功能、结构与特点及运行维护；了解工厂变配电所各种主接线，以及工厂变配电所的布置要求和基本结构。

### 【项目描述】

在供电系统中，为了满足用户对电力的需求，保证电力系统运行的安全性和经济性，安装有电力变压器，从而使发电机发出的电能经发电厂输电变压器升压，变为输电线路较高电压的电能，高压电能经传送至负荷中心区时，需再经中心区变电所降压变压器降压，变为用电设备所需的较低电压的电能，然后经配电装置和配电线路将电能送至各个用户。

### 任务1 变压器的运行监视与故障处理

#### 【任务描述】

本任务要求学生学会做变压器投运前的各项检查和试验；熟悉变压器的常见故障现象，分析产生故障的原因，学会处理各种常见故障。

#### 【知识链接】

#### 2.1.1 电力变压器的结构和类型

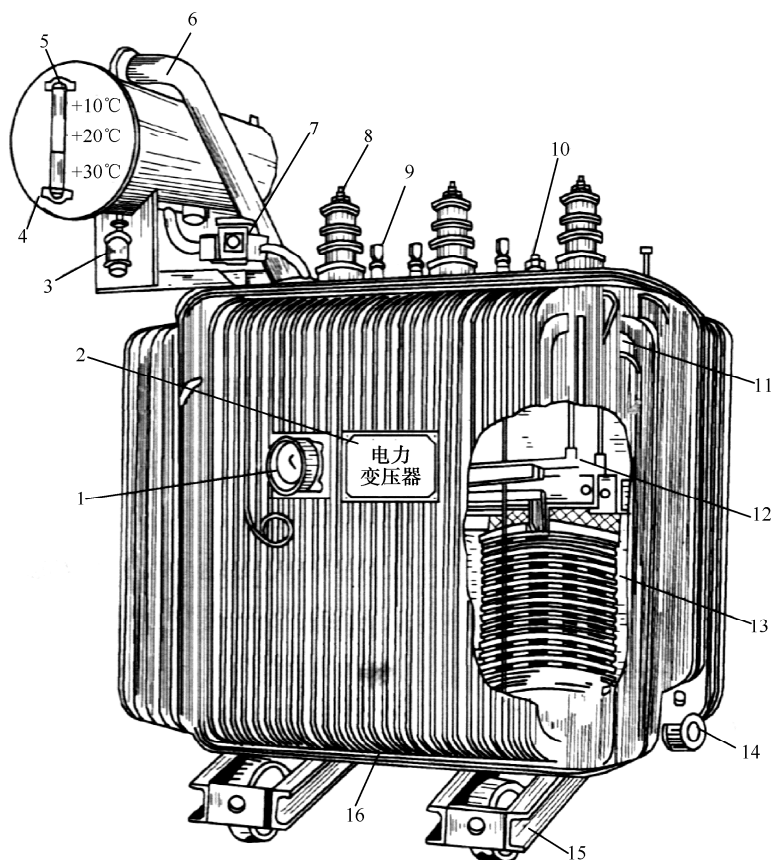
(1) 电力变压器。电力变压器（文字符号 T 或 TM）是供配电系统中实现电能输送、电压变换，满足不同电压等级负荷要求的核心器件，使用最多的是三相油浸式电力变压器和环氧树脂浇注干式变压器。工厂变电所中的电力变压器属于直接向用电设备供电的配电变压器，容量等级均采用 R10 系列，电力变压器的绕组导体材质有铜绕组和铝绕组，低损耗的铜绕组变压器现在得到了广泛使用。

(2) 类型。电力变压器按调压方式可分为无载调压和有载调压两大类，工厂变电所中大多采用无载调压方式变压器。

- 变压器按相数来分，可分为单相变压器和三相变压器。
- 变压器按绕组绝缘方式及冷却方式可分为油浸式、干式和充气式等。工厂变电所中大多采用油浸自冷式变压器。
- 变压器按用途可分为普通式、全封闭式、防雷式，工厂变电所中大多采用普通式变压器。图 2-1 为一般三相油浸式电力变压器的结构图。

## 1. 电力变压器的结构组成

电力变压器主要有铁芯、线圈、油箱、储油柜及绝缘套管、分接开关和气体继电器等组成，如图 2-1 所示。



1—信号温度计；2—铭牌；3—吸湿器；4—油枕；5—油标；6—安全气道；7—气体继电器；8—高压套管；  
9—低压套管；10—分接开关；11—油箱；12—铁芯；13—绕组；14—放油阀；15—小车；16—接地端子

图 2-1 油浸式三相电力变压器

## 2. 电力变压器各部分功能

### 1) 油箱

油箱由箱体、箱盖、散热装置、放油阀组成，其主要作用是把变压器连成一个整体及进行散热。内部是绕组、铁芯和变压器油。变压器油既有循环冷却和散热作用，又有绝缘作用。绕组与箱体（箱壁、箱底）有一定距离，通过油箱内的油进行绝缘。油箱一般采用散热管油箱。散热管的管内两端与箱体内相通，油受热后，经散热管上端口流入管体，冷却后经下端口又流回箱内，形成循环，用于  $1600\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下的变压器，还有带散热器的油箱，用于  $2000\text{kV}\cdot\text{A}$  以上的变压器。

### 2) 铁芯和绕组

(1) 铁芯：铁芯是变压器最基本的组成部分之一。铁芯是用导磁性能很好的硅钢片叠压而成闭合磁路，变压器的一次绕组和二次绕组都绕在铁芯上。

(2) 绕组：绕组也是变压器最基本的部件。变压器的一次绕组和二次绕组都是用铜线或铝线绕成圆筒形的多层线圈，缠绕在变压器的铁芯柱上，绕组的匝与匝之间，层与层之间，绕组与绕组之间，绕组与铁芯之间均相互绝缘。

### 3) 油枕

当变压器的体积随着油的温度膨胀或缩小时，油枕起着储油及补油的作用，从而保证油箱内充满油。同时由于装了油枕，使变压器缩小了与空气的接触面，减小了油的劣化速度。油枕的侧面还装有一个油位计（油标管），从油位计中可以监视油位的变化。

### 4) 吸湿器

由一根铁管和玻璃容器组成，内装干燥剂（如硅胶）。当油枕内的空气随变压器油的体积膨胀或缩小时，排出或吸入的空气都经过吸湿器，吸湿器内的干燥剂吸收空气中的水分，对空气起过滤作用，从而保持油的清洁。

### 5) 高、低压套管

高、低压套管为瓷质绝缘管，内有导体，用于变压器一、二次绕组接入引出端的固定和绝缘。

### 6) 防爆管

其作用是防止油箱发生爆炸事故。装在变压器的顶盖上，喇叭形的管子与储油柜或大气相通，管口由薄膜封住。当变压器内部有故障时，油温升高，油剧烈分解产生大量气体，使油箱压力剧增。这时防爆管薄膜破裂，油及气体由管口喷出，防止变压器的油箱爆炸或变形。

### 7) 散热器

散热器又称冷却器，其形式有瓦楞型、扇形、圆形和排管等。当变压器上层油温与下层油温产生温差时，通过散热器形成油的对流，经散热器冷却后流回油箱，起到降低变压器温度的作用。为提高变压器油的冷却效果，常采用风冷、强油风冷和强油水冷等措施。散热管的散热面积越大，散热效果越好。

### 8) 分接开关

分接开关是调整电压比的装置。双绕组变压器的一次绕组及三相绕组变压器的一、二次绕组一般都有3~5个分接头位置，操作部分装于变压器的顶部或背部，经传动杆伸入变压器的油箱。3个分接头的中间分接头为额定电压的位置，相邻分接头的额定电压值差 $\pm 5\%$ ；多分接头的变压器相邻分接头的额定电压值相差 $\pm 2.5\%$ ，根据系统运行的需要，按照指示的标记，来选择分接头的位置。

由于变压器高压绕组的电流小，其导线的截面也小。同时额定电流小的分接开关结构比较简单，容易制造和安装。变压器的高压绕组又在外边，抽头引线引出很方便。对于降压变压器，当电网电压变动时，在高压绕组进行调压就可以适应电网电压变动，对变压器运行十分有利。调压方式包括无载调压和有载调压两种。无载调压是指切换分接头时，必须在变压器停电情况下进行；有载调压则是在保证不中断负荷电流的情况下进行电压调整，使系统电压在正常范围内运行。一般都在变压器高压绕组上改变匝数进行调压。

### 9) 气体继电器

气体继电器是变压器的主要保护装置，装在变压器的油箱和储油柜的连接管上。当变压器的内部发生故障时，气体继电器的上接点接信号回路，下接点接开关的跳闸回路。

除上述部分外，变压器还有温度计、热虹吸、吊装环、带孔支架等附件。

一般工厂变电所采用的中、小型变压器多为油浸自冷式，干式变压器常用在宾馆、楼宇、



大厦等场所，一般安装在地下变电所内和箱式变电所内。随着高层楼宇的兴建，干式变压器应用越来越广泛。

## 2.1.2 三相电力变压器的连接组别

三相电力变压器连接组别是指变压器一、二次侧绕组所采用的连接方式的类型及相应的一、二次侧对应的线电压的相位关系。常用的连接组别有 Yyn0、Dyn11、Yzn11、Yd11、YNd11 等。下面分析变压器的某些常见连接组别的特点和应用。

### 1. 配电变压器的连接组别

6~10kV 配电变压器（二次侧电压为 380/220V）有 Yyn0、Dyn11 两种常用的连接组别。

(1) Yyn0 连接组别的示意图如图 2-2 所示。其一次线电压和对应二次线电压的相位关系如同时钟在零点（12 点）时分针与时针的位置一样（图中一、二次绕组上标有“•”的端子为对应的同名端）。

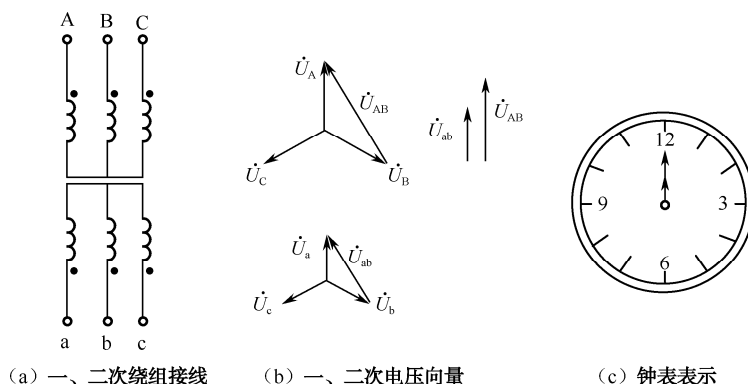


图 2-2 变压器 Yyn0 连接组别

Yyn0 连接组别的一次绕组采用星形连接，二次绕组为带中性线的星形连接，其线路中可能有  $3n$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) 次谐波会注入公共的电网中；而且，其中性线的电流规定不可能超过相线电流 25%。因此，负荷严重不平衡或  $3n$  次谐波比较突出的场合不宜采用这种连接，但该连接组别的变压器一次绕组的绝缘强度要求较低（与 Dyn11 比较），因而造价比 Dyn11 型的稍低。在 TN 和 TT 系统中由单相不平衡电流引起的中性线电流不超过二次绕组额定电流的 25%，且任一相的电流在满载都不超过额定电流时可选用 Yyn0 连接组别的变压器。

Yyn0 这种连接组别一般用在低压侧为 400V/220V 的配电变压器中，供电给动力和照明混合负载。三相负载用 400V 线电压，单相照明负载用 220V 相电压。Yn0 表示星形连接的中心点，引至变压器箱壳的外面再与地相接。

(2) Dyn11 连接组别的示意图如图 2-3 所示。其一次线电压和对应二次线电压的相位关系如同分针与时针位置一样。

其一次绕组为三角形接线， $3n$  次谐波电流在三角形的一次绕组中形成环流，不致注入公共电网，有抑制高次谐波的作用；其二次绕组为带中线的星形连接，按规定，中性线电流容许达到相电流的 75%，因此，其承受单相不平衡电流能力远远大于 Yyn0 连接组别的变压器。对于现代供电系统中单相负荷急剧增加的情况，尤其在 TN 和 TT 系统中，Dyn11 连接的变压器得到大力的推广和应用。

Dyn11(Y, d11Y/△-11)这种连接组别通常用于低压侧电压高于 400V, 高压侧电压为 35kV 及以下的输配电系统中。

Dyn11(Y, d11-Y<sub>0</sub>/△-11)这种连接组别通常用在高压侧需要中心点接地的输电系统中, 如 110kV 及 220kV 等超高压系统中。此外也可以用在低压侧电压高于 400V, 高压侧电压为 35kV 及以下的输配电系统中。

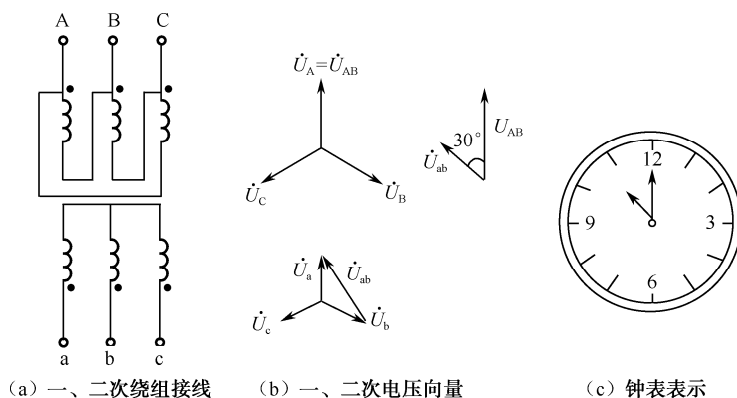


图 2-3 变压器 Dyn11 连接组别的示意图

## 2. 防雷变压器连接组别

防雷变压器通常采用 Yzn11 连接组别, 如图 2-4 所示。其一次绕组采用星形连接, 二次绕组分成两个匝数相同的绕组, 并采用曲折形(Z)连接, 在同一铁芯柱上的两半个绕组的电流正好相反, 使磁动势相互抵消。因此, 如果雷电压沿二次侧线路侵入, 二次侧也不会出现过电压。由此可见, Yzn11 连接的变压器有利于防雷, 但这种变压器二次绕组的用材量比 Yyn0 型增加 15%以上。

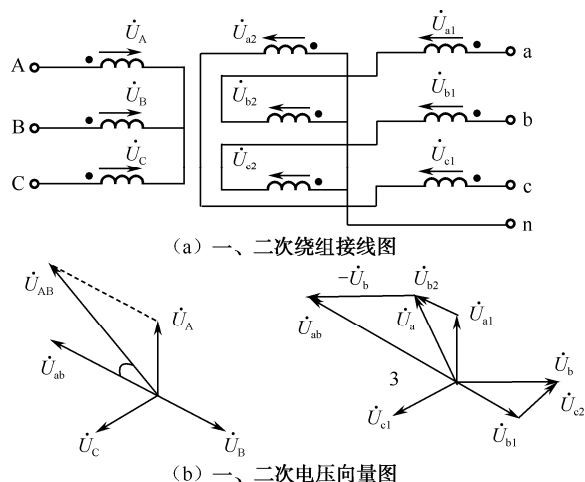


图 2-4 防雷变压器 Yzn11 连接组别

### 2.1.3 工厂变电所中变压器的过负荷能力

在选择电力变压器时, 必须对负载的大小、性质作深入了解, 然后按照设备功率的确

定方法选择适当容量。为了降低电能损耗,变压器应该首选低损耗节能型。当厂区配电母线电压偏差不能满足要求时,总降压变电所可选用有载调压变压器。车间变电所一般采用普通变压器。变压器容量的确定除考虑正常负荷外,还应考虑到变压器的过负荷能力和经济运行条件。

### 1. 电力变压器的过负荷能力

变压器在正常运行时,负荷不应超过其额定容量。但是,变压器并非总在最大负荷下运行,在许多时间内变压器的实际负荷远小于额定容量,因此,变压器在不降低规定使用寿命的条件下具有一定短期过负荷能力。变压器过负荷能力分为正常过负荷能力和事故过负荷能力两种。

(1) 正常过负荷能力。变压器在正常运行时带额定负荷可连续运行 20 年。由于昼夜负荷变化和季节负荷差异而允许的变压器过负荷,称为正常过负荷。这种过负荷系数的总数,对室外变压器不超过 30%,对室内变压器不超过 20%。

变压器的正常过负荷是指在不影响寿命、不损坏变压器的各部分绝缘的情况下允许过负荷的持续时间。自然冷却或吹风冷却油浸式电力变压器的过负荷允许时间见表 2-1。

表 2-1 自然冷却或吹风冷却油浸式电力变压器的过负荷允许时间

过负荷倍数	过负荷前上层油温升/℃					
	18	24	30	36	42	48
	过负荷允许时间 (h: min/小时: 分钟)					
1.1	3: 50	3: 25	2: 50	2: 10	1: 25	0: 10
1.2	2: 05	1: 40	1: 15	0: 45	—	
1.3	1: 10	0: 50	0: 30	—		
1.4	0: 40	0: 25	—			
1.5	0: 15	—				

(2) 事故过负荷能力。当电力系统或工厂变电所发生事故时,为了保证对重要设备连续供电,故允许变压器短时间的过负荷,这种过负荷即事故过负荷。

油浸自然循环和油浸强迫油浸循环风冷式冷却变压器事故过负荷运行时间允许值见表 2-2 和表 2-3。若过负荷的倍数和时间超过允许值时,则应按规定减少变压器的负荷。

表 2-2 油浸自然循环冷却变压器事故过负荷运行时间允许值

过负荷 倍数	环境温度/℃					过负荷 倍数	环境温度/℃				
	0	10	20	30	40		0	10	20	30	40
	运行时间允许值（h：min/小时：分钟）						运行时间允许值（h：min/小时：分钟）				
1.1	24：00	24：00	24：00	19：00	7：00	1.6	3：00	2：05	1：20	0：45	0：18
1.2	24：00	24：00	13：0	5：50	2：45	1.7	2：05	1：20	0：55	0：25	0：09
1.3	23：00	10：00	5：30	3：00	1：30	1.8	1：30	1：00	0：30	0：13	0：06
1.4	8：30	5：10	3：10	1：45	0：55	1.9	1：00	0：35	0：18	0：09	0：05
1.5	4：45	3：00	2：00	1：10	0：35	2.0	0：40	0：22	0：11	0：06	0

表 2-3 油浸强迫油循环风冷式冷却变压器事故过负荷运行时间允许值

过负荷倍数	环境温度/℃					过负荷倍数	环境温度/℃				
	0	10	20	30	40		0	10	20	30	40
	运行时间允许值（h：min/小时：分钟）						运行时间允许值（h：min/小时：分钟）				
1.1	24：00	24：00	24：00	19：00	7：00	1.5	4：45	3：00	2：00	1：10	0：35
1.2	24：00	24：00	13：0	5：50	2：45	1.6	3：00	2：05	1：20	0：45	0：18
1.3	23：00	10：00	5：30	3：00	1：30	1.7	2：05	1：25	0：55	0：25	0：09
1.4	8：30	5：10	3：10	1：45	0：55						

## 2. 变压器台数的选择原则

工厂变电所中的主变压器台数应根据下列原则选择:

(1) 应满足用电负荷对供电可靠性的要求, 对供有大量一、二级负荷的变电所应采用两台变压器, 对只有二级负荷, 而无一级负荷的变电所, 也可只采用一台变压器, 并在低压侧架设与其他变电所的联络线。

(2) 对季节性负荷或昼夜负荷变动较大的工厂变电所, 可考虑采用两台变压器。

(3) 一般三级负荷只采用一台主变压器。

(4) 考虑负荷的发展, 应留有第二台主变压器的空间。

## 3. 主变压器容量的选择

### 1) 单台变压器容量的确定

单台变压器的额定容量  $S_N$  应能满足全部用电设备的计算负荷  $S_e$ , 留有裕量, 并考虑到变压器的经济运行, 即

$$S_N = (1.15 \sim 1.4) S_e \quad (2-1)$$

工厂车间变电所中, 单台变压器容量不宜超过  $1000\text{kV} \cdot \text{A}$  (kW)。

### 2) 两台变压器容量确定

装有两台变压器时, 每台变压器额定容量  $S_N$  应同时满足以下两个条件:

任一台变压器单独运行时, 应满足总计算负荷的 60%~70%的要求, 即

$$S_N \geq (0.6 \sim 0.7) S_e \quad (2-2)$$

任一台变压器单独运行时, 应满足全部计算负荷一、二级负荷的需要, 即

$$S_N \geq S_{\text{Ie}} + S_{\text{Ie}} \quad (2-3)$$

### 3) 单台变压器的容量上限

工厂车间变电所单台主变压器容量一般不宜大于  $1250\text{kV} \cdot \text{A}$  (kW)。这方面是受以往低压开关电器断流能力和短路稳定度要求的限制; 另一方面也是考虑到可以使变压器更接近于车间负荷中心, 以减少低压配电的电能损耗、电压损耗和有色金属消耗量。

对于装设在二层楼以上的电力变压器应考虑垂直与水平运输对通道、楼板载荷的影响。如果采用干式变压器, 其容量不宜大于  $630\text{kV} \cdot \text{A}$  (kW)。

对于居民小区变电所内油浸式变压器单台容量, 不宜大于  $630\text{kV} \cdot \text{A}$  (kW)。

**例 2-1** 某车间  $10/0.4\text{kV}$  变电所, 总计算负荷为  $1400\text{kW}$ , 其中一、二级负荷为  $750\text{kW}$ , 试确定主变压器台数和单台容量。

**解:** 由于车间变电所有一、二级负荷, 所以变电所应选用两台变压器。

根据式 (2-2) 和式 (2-3) 得

$$S_N \geq 0.7S_e = 0.7 \times 1400 = 980 \text{ kW}$$

$$S_N \geq S_{I_{le}} + S_{I_e} \geq 750 \text{ kW}$$

所以单台变压器容量选择为 1000kW 的电力变压器，具体型号为 S9-1000/10。

### 2.1.4 电力变压器并联运行的目的和条件

#### 1. 电力变压器并联运行的目的

供配电技术中常采用变压器并联运行方式，目的是为了提高供电的可靠性和变压器运行的经济性。

#### 2. 电力变压器并联运行的条件

为保证并联运行的变压器一次侧与二次侧电势相同、电压相位相同、变压器内阻相同，并联运行的变压器，应该在空载时并联回路中没有环流，在带负载时，各变压器的电流按其容量比分配，无严重负荷不均现象发生，使并联变压器的容量能得到充分利用。因此，并联运行变压器必须满足以下条件：

(1) 所有并联变压器的电压比必须相同，即额定一次电压和额定二次电压必须对应相等，容许差值不得超过 $\pm 5\%$ 。否则将在并联运行变压器的二次绕组内产生环流，即二次电压较高的绕组将向二次电压较低的绕组供给电流，引起电能损耗，导致绕组过热甚至烧毁。

(2) 并联变压器的连接组别必须相同。也就是一次电压和二次电压的相序和相位分别对应相等。否则，不同连接组别的变压器之间存在相位差，进行并联运行时会产生环流，可能导致变压器绕组烧坏。

(3) 并联变压器的短路电压（阻抗电压）必须相等或接近相等。并联变压器短路电压（阻抗电压）容许差值不能超过 $\pm 10\%$ 。因为并联运行的变压器的实际负载分配和它们的阻抗电压值成反比，如果阻抗电压相差过大，可能导致阻抗电压小的变压器方式过负荷现象。

(4) 变压器在并联运行前，应根据实际情况，预计变压器的负荷分配情况，并联运行后检查其负荷电流分配是否合理，防止因负荷分配不合理造成变压器过载或过分欠载。解开并联前，应根据实际情况，预计解列后各变压器都不会过载，并且在解列后应立即检查各变压器的负荷电流都不应超过其额定电流。

### 2.1.5 变压器的操作与维护

#### 1. 变压器运行前的检查事项

在变压器投入运行前，应进行下列项目的检查：

(1) 检查试验合格证。如果此试验合格证签发日期超过 3 个月，应重新测试绝缘电阻，其阻值应大于允许值且不小于原试验值的 70%。

(2) 套管完整，无损坏裂纹现象，外壳无漏油、渗油现象。

(3) 高、低压引线完整可靠，各处接点符合要求。

(4) 一、二次熔断器熔体符合要求。

(5) 引线与外壳及电杆的距离符合要求，油位正常。

(6) 防雷保护齐全，接地电阻合格。

## 2. 变压器停、送电操作顺序

变压器停、送电的操作顺序：停电时先停负荷侧，后停电源侧；送电时先接通电源侧，再依次接通负荷侧。

原因如下：

(1) 从电源侧逐级向负荷侧送电，如有故障，便于确定故障范围，及时作出判断和处理，以免故障蔓延扩大。

(2) 多电源的情况下，若先停负荷，则可以防止变压器反向充电；若先停电源侧，遇到有故障可能会造成保护装置的误动作或拒动，延长故障切除时间，并可能扩大故障范围。

(3) 当负荷侧母线电压互感器带有低周减载装置，而未装电流闭锁时，一旦先停电源侧开关，由于大型同步电动机的反馈，可能使低周减载装置误动作。

### 2.1.6 成套配电装置

成套配电装置是按电气主接线的要求，把开关设备、保护测量电气、母线和必要的辅助设备组合在一起构成的用来接受、分配和控制电能的总体装置。

#### 1. 成套配电装置分类与特点

成套配电装置可分为装配式配电装置和成套配电装置。电气设备在现场组装的配电装置称为装配式配电装置，在制造厂预先把电气组装成柜再运到现场安装的称为成套配电装置。工厂变配电所多采用成套配电装置。

成套配电装置是制造厂成套供应的设备。同一个回路的开关电器、测量仪表、保护电器和辅助设备都装配在一个或两个全封闭或半封闭的金属柜中。制造厂可生产各种不同一次线路方案的开关柜供用户选用。

一般中、小型工厂变配电所中常用到成套配电设备有高压成套配电装置(又称高压开关柜)和低压成套配电装置。低压成套配电装置只有室内式一种，高压开关柜则有室内式和室外式两种。另外还有一些成套配电装置，如高、低压无功功率补偿成套装置，高压综合启动柜、低压动力配电箱及照明配电箱等在工厂也常使用。

#### 2. 高压成套配电装置(高压开关柜)

高压成套配电装置就是按不同用途的接线方案，将所需的高压设备和相关一、二次设备按一定的线路方案组装而成的一种高压成套配电装置，在发电厂和变电所中作为控制和保护发电机、变压器和高压线路之用，也可作为大型高压交流电动机的启动和保护之用，对供电系统进行控制、检测和保护。其中安装有开关设备、保护电器、检测仪表和母线、绝缘子等。

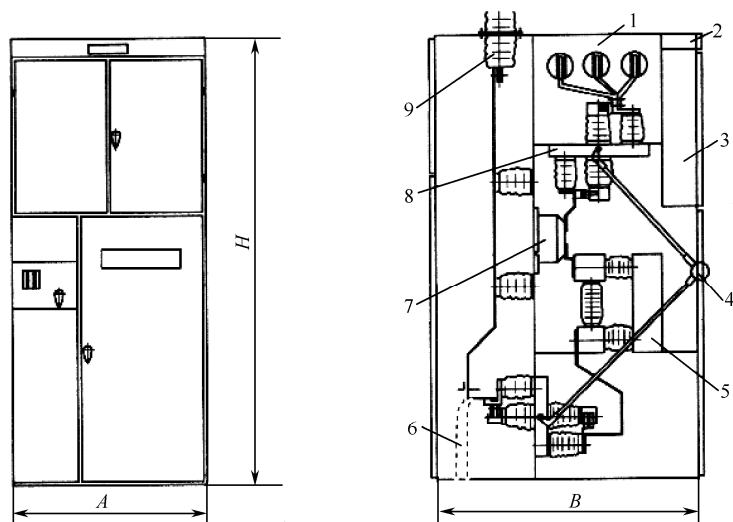
固定式高压开关柜内所有电器部件都固定在不能移动的台架上，构造简单，也较为经济，仪表在中、小型工厂大多采用。

高压开关柜有固定式和手车式(移开式)两大类。在一般中、小型工厂中普遍采用较为经济的固定式高压开关柜。我国现在大量生产和广泛应用的固定式高压开关柜主要为 GG-1A (F) 型。这种防误操作型开关柜装设了防止电器误操作和保障人身安全的闭锁装置，即“五防”：

- (1) 防止误分、误合断路器。
- (2) 防止带负荷误拉、误合隔离开关。
- (3) 防止带电误挂地线。
- (4) 防止带接地线误合隔离开关。

(5) 防止人员误入带电间隔。

GG-1AFQ 箱式固定柜外形示意图如图 2-5 所示。



(a) 柜正面示意图

(b) 部件布置示意图

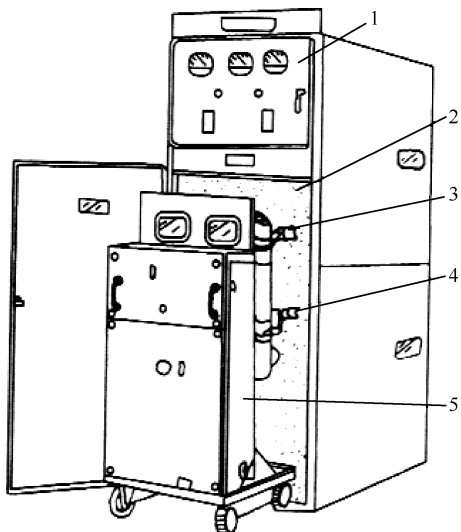
1—母线室；2—小母线通道；3—仪表室；4—操作及联锁机构；5—整体式真空断路器；

6—电缆出线；7—电流互感器；8—隔离开关；9—架空出线

图 2-5 GG-1FQ 箱式固定柜外形示意图

手车式（或移开式）高压开关柜是一部分电器部件固定在可移动的手车上，另一部分电器部件装置在固定的台架上。当高压断路器出现故障需要检修时，可随时将其手车拉出，然后推入同类备用小车，即可恢复供电。因此，采用手车式开关柜检修方便安全，恢复供电快，可靠性高，但价格较贵。

图 2-6 为 GC-10 (F) 型手车式高压开关柜的外形结构图。

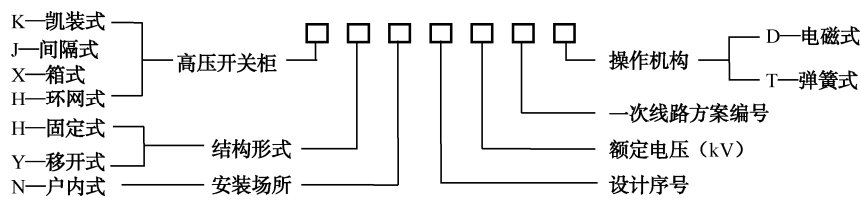


1—仪表屏；2—手车室；3—上触点；4—下触点（兼起隔离开关作用）；5—SN10-10 型断路器手车

图 2-6 GC-10 (F) 型手车式高压开关柜的外形结构图

高压开关柜在 6~10kV 电压等级的工厂变配电所户内配电装置中应用很广泛，35kV 高压开关柜目前国内仅生产户内式。

新系列高压开关柜的全型号表示和含义如下：



3. 低压成套配电装置

低压成套配电装置一般称为低压配电屏，包括低压配电柜和配电箱，是按一定的线路方案将有关一、二次设备组装而成的低压成套设备，在低压系统中可作为控制、保护和计量装置。

低压成套配电装置按其结构形式分为固定式和抽屉式两种。

目前，使用较广的固定式低压配电柜有 PGL、GGL、GGD 等形式，其中 GGD 是国内较新的产品，全部采用新型电器部件，具有分断能力强、热稳定性好、接线方案灵活、组合方便、结构新颖及外壳防护等级高等优点。固定式低压开关柜适用于动力和照明配电。

抽屉式低压开关柜的安装方式为抽出式，每个抽屉为一个功能单元，按一、二次线路方案要求将有关功能单元的抽屉式叠装安装在封闭的金属柜体内，这种开关柜适用于三相交流系统中，可作为电动机控制中心的配电和控制装置。图 2-7（单位：mm）为 GCK 型抽屉式低压配电柜结构示意图。

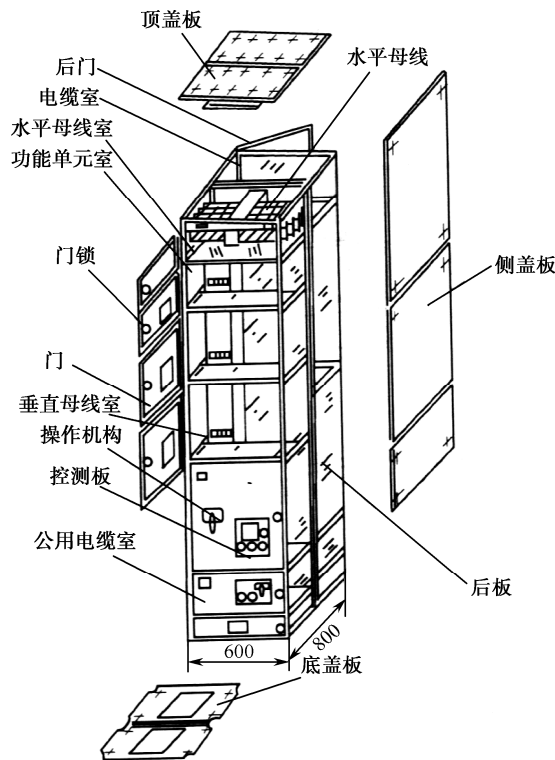


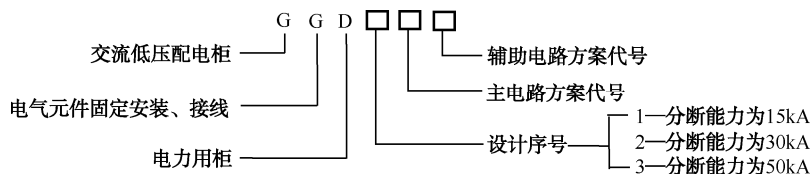
图 2-7 GCK 型抽屉式低压配电柜结构示意图



### 1) 低压配电屏

常见的低压配电屏有 GGD 型和 PGL 型。

GGD 型低压配电屏适用于交流频率为 50Hz，额定工作电压为 380V，额定工作电流至 3150A 的发电厂、变电站、工矿企业等配电系统。型号含义如下：

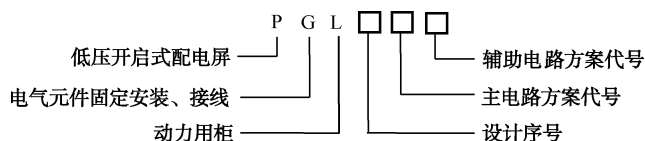


低压配电屏供电力用户的动力、照明及配电设备的电能转换，分配与控制之用。GGD 型低压配电屏具有分断能力高、动态稳定性好、结构新颖、合理、电器方案切合实际、系列性、实用性强、防护等级高等优点。其实物外形如图 2-8 (a) 所示。

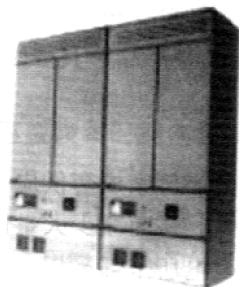
GGD 型交流低压配电屏的结构特点：

柜体采用通用柜的形式，构架用 8MF 冷弯型钢局部焊接组装而成。构架零件及专用配套零件由型钢定点生产厂配套供货，从而保证了柜体的精度和质量。通用 GGD 型低压配电屏的零部件按模块原理设计，框架及零部件安装孔模数  $E=20\text{mm}$  变化，通用系数高，可使工厂实现预生产，既缩短生产周期又可提高工作效率。GGD 型低压配电屏的分断能力较高、动力稳定性能较好，电气方案切合实际，生产成系列化，通常作为更新换代的产品使用。

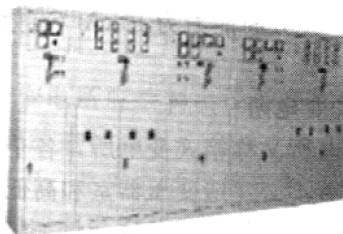
PGL 型交流低压配电屏是 1981 年以后由天津电气传动设计研究组织开发的全国统一设计的产品，1984 年，完成并通过产品鉴定，是目前国内低压配电屏全国统一设计的产品。其型号含义如下：



PGL 型低压配电屏一般供发电厂、变电站、工矿企业的动力配电及照明供电设备使用，适用于交流为 50Hz、额定工作电压不超过 380V，额定工作电流为 1600A 及以下的低压配电系统中。其实物外形如图 2-8 (b) 所示。



(a) GGD型低压配电屏



(b) PGL型低压配电屏

图 2-8 常见低压配电屏实物图

PGL 型低压配电屏可以取代目前生产的 BSL 系列产品，具有结构设计合理、电路配置安全、防护性能好等优点，与老产品相比其分断能力高、动热稳定性好、运行安全可靠。PGL

型低压配电屏辅助电路方案与主电路方案相对应，每个主电路方案对应一个或数个辅助电路方案，用户可在选取主电路方案后，从对应的辅助电路方案中选取合适的电气原理图。

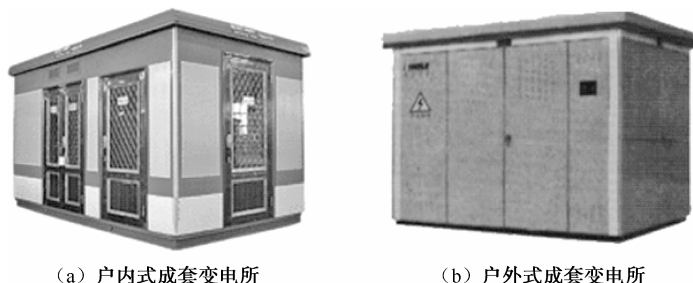
PGL 型低压配电屏是一种开启式配电装置，基本结构用角钢和薄钢板焊接而成，屏面上方仪表板，为开启式的小门，可装设指示仪表，屏面中段可安装开关的操作机构，屏面下方有门。屏上装有母线防护罩，组合安装的屏左右两端有侧壁板，屏之间有钢板弯制而成的隔板。这样就减少了由于一个单元（一面屏）内因故障而扩大事故的可能。母线系垂直放置，用绝缘板固定于配电屏顶部，中性母线装在屏下部。另外，PGL 型低压配电屏具有良好的保护接地系统，主接地点焊接在下方的骨架上。仪表门也有接地点与壳体相连。这样就构成了一个完整的接地保护电路。这个接地保护电路的可靠性，使产品防止触电的能力大为加强。

PGL1 型产品，其分断能力为 15A（有效值）；PGL2 型产品，其分断能力为 30A（有效值）。

## 2) 组合式成套变电所

组合式成套变电所又称箱式变电所，各个单元都由生产厂家成套供应，现场组合安装而成。这种成套变电所不必建造变压器室和高压配电室等，从而减少大量的土建投资，而且便于深入负荷中心，简化供配电系统。由于组合式成套变电所全部采用无油或少油电器，因此，运行更加安全可靠，降低了维护工作量。

组合式成套变电所分为户内式和户外式两大类。目前，户内式主要用于高层建筑和民用建筑群的供电；户外式则一般用于工矿企业、公共建筑和住宅小区供电。图 2-9 所示为组合式成套变电所实景图。



(a) 户内式成套变电所

(b) 户外式成套变电所

图 2-9 组合式成套变电所实景图

图 2-9 (a) 所示为某城市一个区域中心的户内式成套变电所，这种变电所的接线方式一般采用电缆进线。高压设备一般为“负荷开关+熔断器”的组合式开关，这些开关设备均具有全面的防误操作联锁功能。低压成套设备设计有配电、动力、照明、计量、无功补偿等功能。户内为满足防火要求，均采用干式变压器。组合式成套变电所对高压开关柜在电气和机械联锁上采取了“五防”措施。组合式成套变电所虽然投资大，但可靠性高、运行维护方便、安装工作量大、自动化程度高，基本上可实现无人值守，因此，被广泛使用。

图 2-9 (b) 所示为国内预装箱式户外式成套变电所，这种箱式变电所除统一的矩形外，其高度一般为 2.2m。箱式成套变电所各制造厂根据用户的使用环境和地形特征，可以组成各种不同的箱体形状，外形设计通常与外界环境相协调，在景色协调的环境中可成为景色点缀。箱体的颜色与箱体的外形一样，其色调可与外界环境相协调，如安装在街心花园或花丛中的成套变电站，箱体可配以绿色，安装在路边或建筑群中的成套变电站，可与周围建筑相协调。箱体的材料可以选用金属（如普通钢板、热镀锌钢板、铝合金板及夹层彩色钢板），金属材料的

箱体经过防腐处理。箱体材料也可以选用非金属（如玻璃纤维增加塑料板、复合玻璃钢板预制成型板、水泥预制成型板及特种玻璃纤维增强水泥预制板等），非金属材料箱体能耐老化、阻燃且有防止产生危险静电荷的措施。

#### 4. 动力配电箱和照明配电箱

##### 1) 动力配电箱

从车间低压配电屏引出的供电线路，一般需经低压动力配电箱后才接至用电负荷。动力配电箱是车间供电系统中对用电设备的最后一级控制和保护设备。

动力配电箱具有配电和控制两种功能，主要用于动力配电与控制，但也可用于照明配电与控制。常用的动力配电箱有 XL 型、XLL2 型、XF-10 型、XLCK 型、BGL 型、GBM-1 型等，其中 BGL-1、GBM-1 型多用于高层住宅建筑的照明和动力配电。

##### 2) 照明配电箱

照明配电箱主要用于照明配电，但也能对一些小容量的动力设备配电。照明配电箱品种很多，按安装方式可分为靠墙式、悬挂式、嵌入式。

XM 系列照明配电箱适用于工业或民用建筑的照明配电，也可作为小容量动力线路的漏电、过负荷和短路保护之用。

### 实操训练 2 变压器的运行与维护 and 常见故障分析

#### 1. 工作准备

熟悉电气试验规程中有关变压器试验的规定；熟悉被试验变压器的规格、有关数据和现状；将学生分组，发放试验用仪器、仪表和工具。

#### 2. 变压器运行前的检查项目

变压器在投入运行前，应进行下列项目的检查：

- (1) 是否有试验合格证。如果发现试验检查合格证签发日期超过 3 个月，应重新测试绝缘电阻，此阻值应大于允许值且不小于原试验值的 70%。
- (2) 变压器的绝缘套管是否完整，有无损坏裂纹现象，外壳有无漏油、渗油现象。
- (3) 变压器的高、低压引线是否完整可靠，各处接点是否符合要求。
- (4) 变压器一、二次侧熔断器是否符合要求。
- (5) 引线与外壳及电杆的距离是否符合要求，油位是否正常。
- (6) 防雷保护是否齐全，接地电阻是否合格。

#### 3. 变压器的常见故障分析

变压器在运行中，由于其内部或外部的原因会发生一些异常情况，影响变压器正常工作，造成故障。按变压器发生故障的原因，一般可分为磁路故障和电路故障。

**磁路故障：**磁路故障一般指铁芯、轭铁及夹件间发生的故障。常见的有硅钢片短路、穿心螺栓及铁轭夹紧件与铁芯之间的绝缘损坏，以及铁芯接地不良引起放电等。

**电路故障：**电路故障主要指绕组和引线故障等。常见的有线圈老化、受潮，切换器接触不良，材料质量及制造工艺不良，过电压冲击及二次系统短路引起故障等。

##### 1) 变压器故障分析方法

(1) 直观法。变压器控制屏上一般装有监测仪表，容量在 560kV·A 以上的还装有气体继电器、差动保护继电器、过电流保护等装置。通过这些仪表和保护装置可以准确地反映变压器

的工作状态，及时发现故障。

(2) 试验法。发生在匝间短路、内部绕组放电或击穿、绕组与绕组之间的绝缘被击穿等故障时，变压器外表特征不明显，因此，不能完全靠外部直观来判断，必须结合直观并进行试验测量，以正确判断故障的性质和部位，变压器的故障试验法采用的两种方法如下：

① 测绝缘电阻。用 2500V 的绝缘电阻表测量绕组之间和绕组对地绝缘电阻，若其值为零，则说明绕组之间和绕组对地可能有击穿现象。

② 绕组的直流电阻试验。如果变压器的分接开关置于不同分接位置时，测得的直流电阻值相差很大，可能是分接开关接触不良或触点有污垢等；测得低压侧相电阻与三相电阻平均值之比超过 2% 时，或线电阻与三相电阻平均值之比超过 2% 时，说明匝间可能发生短路，或引线套管的导管间接触不良；测得一次侧电阻极大时，表明高压绕组断路或分接开关损坏；二次侧三相电阻测量误差很大时，则可能是引线铜皮与绝缘子导管断开或接触不良。

## 2) 变压器的常见故障

变压器常见故障现象、产生原因和检查处理方法列于表 2-4。

表 2-4 变压器常见故障现象、产生原因和检查处理方法

故障现象	产生原因	检查处理方法
铁芯片局部短路或熔毁	(1) 铁芯片间绝缘严重损坏； (2) 铁芯或铁轭螺栓绝缘损坏； (3) 接地方法不当	(1) 用直流伏安法测片间绝缘电阻，找出故障点并进行修理； (2) 调换损坏的绝缘胶纸管； (3) 改正接地错误
运行中有异常响声	(1) 铁芯片间绝缘损坏； (2) 铁芯的紧固件松动； (3) 外加电压过高； (4) 过载运行	(1) 吊出铁芯检查片间绝缘电阻，进行涂漆处理； (2) 紧固松动螺栓； (3) 调整外加电压； (4) 减轻负载
绕组匝间短路、层间短路或相间短路	(1) 绕组绝缘损坏； (2) 长期过载运行或发生短路故障； (3) 铁芯有毛刺，使绕组绝缘受损； (4) 引线间或套管间短路	(1) 吊出铁芯，修理或调换线圈； (2) 减小负载或排除短路故障后修理绕组； (3) 修理铁芯，修复绕组绝缘； (4) 用绝缘电阻表测试故障并排除故障
高、低压绕组间或对地击穿	(1) 变压器受大气过电压的作用； (2) 绝缘油受潮； (3) 绝缘老化而有破裂、折断等缺陷	(1) 调换绕组； (2) 干燥处理绝缘油； (3) 用绝缘电阻表测试绝缘电阻，必要时更换
变压器漏油	(1) 变压器油箱的焊接有裂纹； (2) 密封垫老化或损坏； (3) 密封垫不正，压力不均； (4) 密封填料处理不好，硬化或断裂	(1) 吊出铁芯，将油放掉，进行补焊； (2) 调换密封垫； (3) 放正垫圈，重新紧固； (4) 调换填料
油温突然升高	(1) 过负载运行； (2) 接头螺钉松动； (3) 线圈短路； (4) 缺油或油质不好	(1) 减少负载； (2) 停止运行，检查各接头，加以紧固； (3) 停止运行，吊出铁芯，检修绕组； (4) 加油或调换全部变压器油
油色变黑 油面变低	(1) 长期过载，油温过高； (2) 有水漏入或有潮气侵入； (3) 油箱漏油	(1) 减小负载； (2) 找出漏水处或检查吸潮剂是否生效； (3) 修补漏油处，加入新油

续表

故障现象	产生原因	检查处理方法
气体继电器动作	(1) 信号指示未跳闸; (2) 信号指示开关未跳闸	(1) 变压器内进入空气, 造成气体继电器误动作, 查原因排除; (2) 变压器内部发生故障, 查出故障加以处理
变压器着火	(1) 高、低压绕组层间短路; (2) 严重过载; (3) 铁芯绝缘损坏, 穿心螺栓绝缘损坏; (4) 套管破裂, 油在闪络时流出, 引起盖顶着火	(1) 吊出铁芯, 局部处理或重绕线圈; (2) 减小负载; (3) 吊出铁芯, 重新涂漆或调换穿心螺栓; (4) 调换套管
分接开关触点灼伤	(1) 弹簧压力不够, 接触不可靠; (2) 动、静触点接触不良; (3) 短路使触点过热	测量直流电阻, 吊出器身后检查处理

### 2.1.7 问题与思考

#### 一、填空题

1. 工厂变配电所按功能可分为工厂变电所、\_\_\_\_\_。工厂变电所的作用: 从\_\_\_\_\_接受电能, 经过\_\_\_\_\_降压, 然后按要求把电能分配到各车间供给各类用电设备。

2. 电力变压器按绝缘方式及冷却方式, 可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等。电力变压器绕组的材质有\_\_\_\_\_绕组和\_\_\_\_\_绕组。

3. 电力变压器的正常过负荷能力, 户外变压器可达到\_\_\_\_\_% , 户内变压器可达到\_\_\_\_\_%。

4. 工厂车间变电所单台主变压器容量上限一般不宜大于\_\_\_\_\_kV·A。

#### 二、判断题 (正确的打√, 错误的打×)

5. 电力变压器的防爆管作用是使变压器通风。 ( )

6. 6~10kV 的电力变压器的二次侧电压为 6kV。 ( )

7. 变电所必须要使用两台电力变压器才能保证供配电要求。 ( )

8. 居民小区内的油浸式变压器单台容量, 不宜大于 630kV·A。 ( )

#### 三、技能题

9. 列写变压器停电和送电的操作顺序。

10. 测量变压器绝缘电阻阻值为零, 判断是什么原因并分析。

11. 电力变压器主要由哪几个部分组成? 变压器在供配电技术中起什么作用?

12. 变压器并联运行的条件有哪些? 其中哪一条应严格执行?

13. 单台变压器容量确定主要依据是什么? 若装有两台主变压器, 容量又应如何确定?

## 任务2 高压电气设备的运行与维护

### 【任务描述】

在电力系统中担负输送、变换和分配电能任务的电路称为一次电路。一次电路中所有电气

设备称为一次设备。本任务主要介绍高压熔断器、高压隔离开关、高压负荷开关、高压断路器、电压和电流互感器等。

## 【知识链接】

### 2.2.1 电弧的产生及灭弧的方法

#### 1. 电弧对设备造成的危害

当开关通断时，只要动、静触点之间的电压不小于  $10\sim 20\text{V}$ ，它们即将接触或者开始断开时就会在间隙内产生放电现象，如果电流小，就会发生火花放电；如果电流大于  $80\sim 100\text{mA}$ ，就会发生弧光放电，即电弧。

电弧是电气设备运行中经常发生的一种物理现象，其特点是光亮很强和温度很高，电弧对供电系统的威胁极大，主要表现在以下几个方面：

(1) 电弧延长了开关电器切断道路的时间，如果电弧是短路电流产生的，电弧的存在就意味着短路还存在，从而使短路电流危害的时间延长。

(2) 电弧的高温可烧坏触点，烧毁电气设备及导线、电缆，还可能引起弧光短路，甚至引起火灾和爆炸事故。

(3) 强烈的弧光可能损伤人的视力。

因此，在供电系统中，各种开关电器在结构的设计上要保证电弧能迅速熄灭。

#### 2. 常用的灭弧方法

常用的灭弧方法有以下几种：

(1) 速拉灭弧法。在切断通路时，迅速拉长电弧，使触点间电场强度骤降，使带电质点的复合速度加快，从而加速电弧的熄灭，这种灭弧方法是开关电器中普遍采用的最基本的灭弧方法，如高压开关中的速断弹簧。

(2) 冷却灭弧法。降低电弧的温度，可使得电场减弱，导致带电质点的复合，有助于电弧的熄灭。这种灭弧方法在开关电器中应用比较普遍。

(3) 吹弧灭弧法。利用外力来吹动电弧，使电弧加速冷却，同时拉长电弧，迅速降低电弧中的电场强度，从而加速电弧熄灭。

按吹弧的方向分为横吹和纵吹；按照外力的性质分为气吹、油吹、电动力吹、磁吹等。

(4) 短弧灭弧法。利用金属栅片把电弧分割成若干个相互串联的短弧，以降低短弧电压，使触点间的电压不足以击穿所有栅片间的气隙而使电弧熄灭。

(5) 只缝灭弧法。将电弧与固体介质所形成的只缝接触，使电弧冷却而灭弧。由于电弧在固体中，其冷却条件加强，同时电弧在只缝中燃烧产生气体，使内部压力增大，去游离作用加强，有利于电弧的熄灭。如在熔断器的熔管内充填石英砂和用绝缘栅的方法，都是利用此原理。

(6) 真空灭弧法。由于真空具有较强的绝缘强度，不存在气体游离的问题，因此，处于真空中的触点间的电弧在电流过零时就能立即熄灭而不致复燃。目前，真空灭弧法在真空断路器中已得到广泛应用。

(7) 六氟化硫灭弧法。六氟化硫具有优良的绝缘性能和灭弧性能，其绝缘强度为空气的 3 倍，介质绝缘能力的恢复速度是空气的 100 倍，使灭弧能力大大提高。六氟化硫断路器就是利用六氟化硫灭弧法。

电气设备的灭弧装置可以采用一种灭弧方法，也可以综合采用几种灭弧方法，以达到提高灭弧能力的目的。

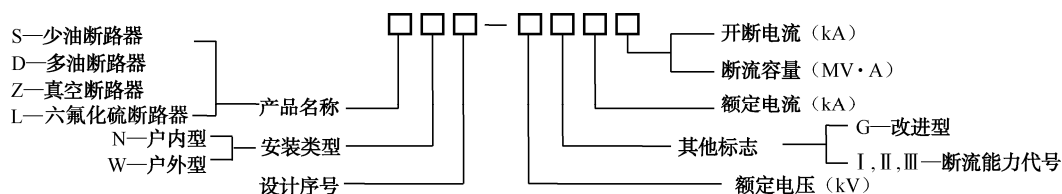
## 2.2.2 工厂变电所常用的高压电气设备

### 1. 高压断路器

高压断路器（文字符号为 QF），是高压输电线路中最为重要的电气设备。它具有可靠的灭弧装置。因此，它不仅能通断正常的负荷电流，而且能接通和承担一定时间的电路电流，并能在保护装置作用下自动跳闸，切除电路故障。

高压断路器的形式可按使用场合分为户内和户外两种，也可按断路器采用的灭弧介质分为压缩空气断路器、油断路器、真空断路器、 $\text{SF}_6$  断路器等多种形式。目前，压缩空气断路器已经基本不使用，油断路器也属于淘汰产品，真空断路器和  $\text{SF}_6$  断路器得到广泛应用。但是由于少油断路器成本低，在输配电系统中还占据着比较重要的地位。

高压断路器的全型号表示意义如下：



#### 1) 高压油断路器

采用变压器油作灭弧介质的断路器称为油断路器。油断路器又可分为多油断路器和少油断路器。高压断路器产品实物如图 2-10 所示。

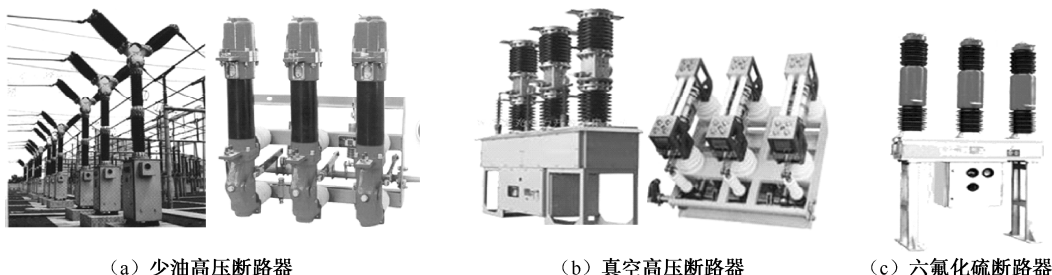


图 2-10 高压断路器产品实物图

图 2-11 是 SN10-10 型高压少油断路器。该断路器的特点：开关触点在绝缘油中闭合和断开；油只作为灭弧介质，油量少；结构简单、体积小、质量轻；外壳带电，必须与大地绝缘，人体不能触及；燃烧和爆炸危险少。

SN10-10 型高压断路器配用 CS2 型手动操作机构，CD 型电磁操动机构或 CT 型弹簧操动机构。CD 型和 CT 型操动机构都有跳闸和合闸线圈，通过断路器的传动机构使断路器动作。电磁操动机构需用直流电源操作，可以手动，也可以远距离跳、合闸。弹簧储能操动机构可交、直流操作电源两用，可以手动，也可以远距离跳、合闸。

少油断路器的主要缺点：检修周期短，在户外使用受大气条件影响大，配套性太差。

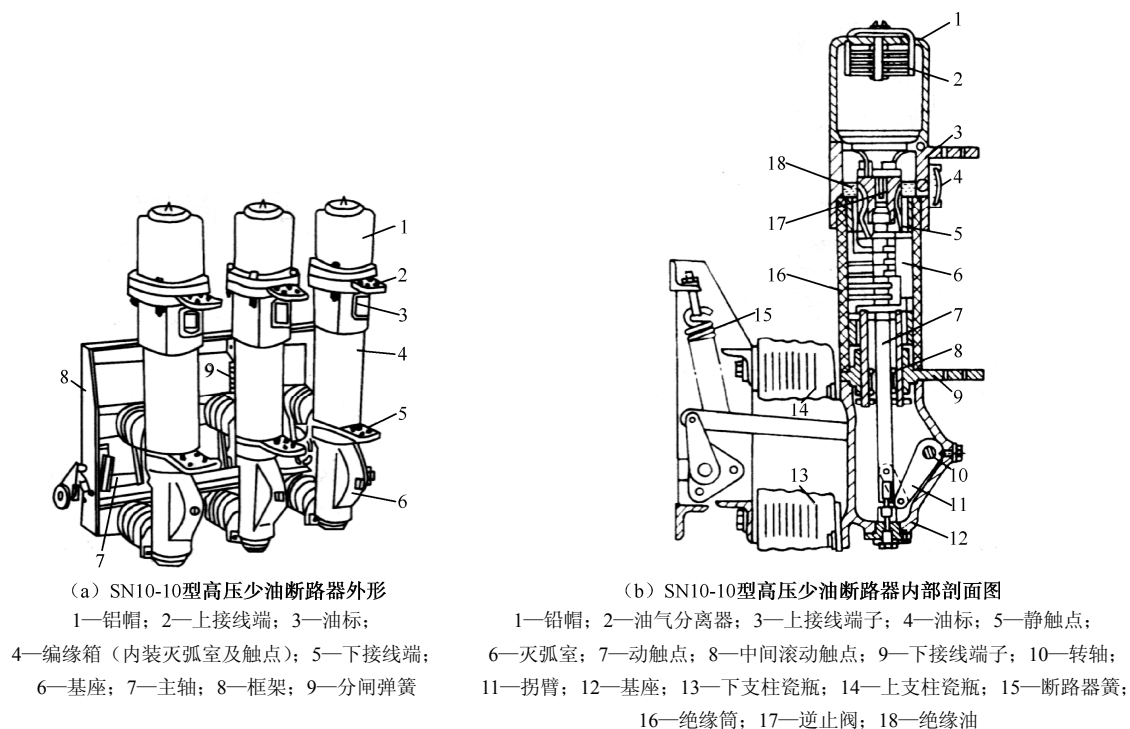


图 2-11 SN10-10 型高压少油断路器

## 2) 高压真空断路器

高压真空断路器是利用“真空”灭弧的一种断路器，是一种新型断路器，我国已成批生产ZN系列真空断路器。

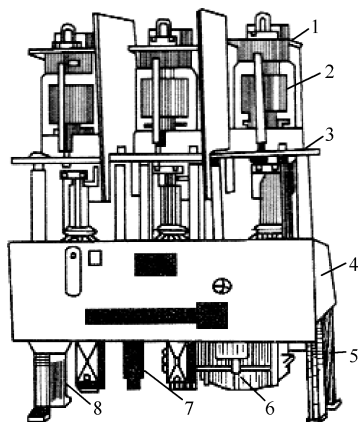
真空断路器的结构特点：灭弧室作为独立的元件，安装调试简单、方便；触点开距短，故灭弧室小巧、操作功能小、动作快；灭弧能力强，燃弧时间短，一般只需半个周期，电磨损小、使用寿命短；防火、防爆、操作噪声小；适用频繁操作，特别是适用于开断容性负荷电流；开断能力强，目前开断电流已达50kA；具有多次重合闸功能，适合配电网要求。

图2-12是ZN3-10型高压真空断路器外形图。它主要由真空灭弧室、操动机构、绝缘体传动件、底座等组成。真空灭弧室由圆盘状的动、静触点，屏蔽罩，纹波管屏蔽罩，绝缘外壳（陶瓷或玻璃制成外壳）等组成，其结构如图2-13所示。

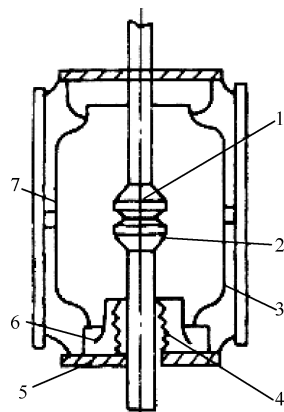
## 3) 高压六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器

六氟化硫（SF<sub>6</sub>）是利用SF<sub>6</sub>作为灭弧和绝缘介质的断路器。SF<sub>6</sub>气体是一种无色、无臭、不燃烧的惰性气体，具有优异的绝缘及灭弧能力。在150℃以下时，其化学性能相当稳定。它的绝缘能力高出普通空气的2.5~3倍，灭弧能力则高近100倍。高压六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器技术采用SF<sub>6</sub>作为绝缘介质和灭弧介质的一种断路器。这种断路器的外形尺寸小、占地面积少、开断能力很强，此外，电弧在SF<sub>6</sub>中燃烧时，电弧电压特别低，燃烧时间也短，因而SF<sub>6</sub>断路器触点烧损很轻外，电弧在SF<sub>6</sub>中燃烧时，电弧高压特别低，燃弧时间也短，因而SF<sub>6</sub>断路器触点烧损很轻微，适用于频繁操作，检修周期长。由于这些优点，SF<sub>6</sub>断路器发展速度很快，电压等级也在不断提高。图2-14是LN2-10型断路器的外形图。





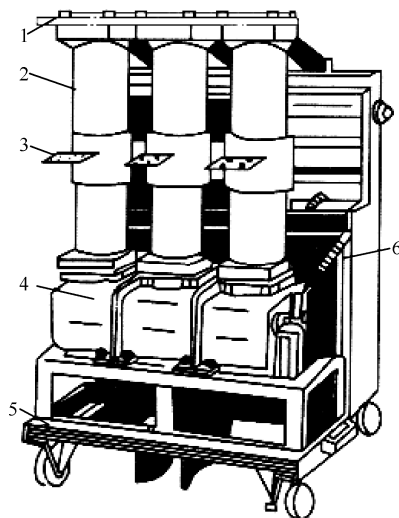
1—上接线端；2—真空灭弧室；3—下接线端；4—操作机构箱；  
5—合闸电磁铁；6—分闸电磁铁；7—分闸弹簧；8—底座



1—静触点；2—动触点；3—屏蔽罩；4—波纹管；  
5—与外壳封接的金属法兰盘；6—波纹管屏蔽罩；7—绝缘外壳

图 2-12 ZN3-10 型高压真空断路器外形图

图 2-13 真空断路器灭弧室结构



1—上接线端；2—绝缘筒（内为汽缸及触点系统）；3—下接线端；4—操作机构；5—小车；6—分闸弹簧

图 2-14 是 LN2-10 型断路器的外形图

断路器的静触点和灭弧室中的压力气活塞是相对固定的。当跳闸时，装有动触点和绝缘喷嘴的汽缸由断路器的操动机构通过杠杆带动离开静触点，使汽缸和活塞产生相对运动来压缩  $\text{SF}_6$  气体并使之通过喷嘴吹出，用吹弧法来熄灭电弧。

$\text{SF}_6$  断路器的缺点：电气性能受电场均匀程度及水分等杂质影响特别大，故对  $\text{SF}_6$  断路器的密封结构、元件结构及  $\text{SF}_6$  气体本身质量的要求相对严格。

$\text{SF}_6$  断路器的结构特点：开关触点在  $\text{SF}_6$  气体中闭合和断开； $\text{SF}_6$  气体具有灭弧和绝缘功能；灭弧能力强，属于高速断路器；结构简单，无燃烧、爆炸危险； $\text{SF}_6$  气体本身无毒，但在电弧的高温下，会产生氟化氢等有强烈腐蚀性的剧毒物质，检修时应注意防毒。

$\text{SF}_6$  断路器的操动机构主要采用弹簧、液压操动机构。

4) 断路器的基本参数

额定电压  $U_N$ ；额定电流  $I_N$ ；额定断开电流  $I_{Nkd}$ ；额定开断容量  $S_{ekd}$ ；动稳定电流  $i_{dw}$ ；热稳定电流  $I_r$ ；开断时间  $t_{kd}$ 。

5) 高压断路器的操作机构

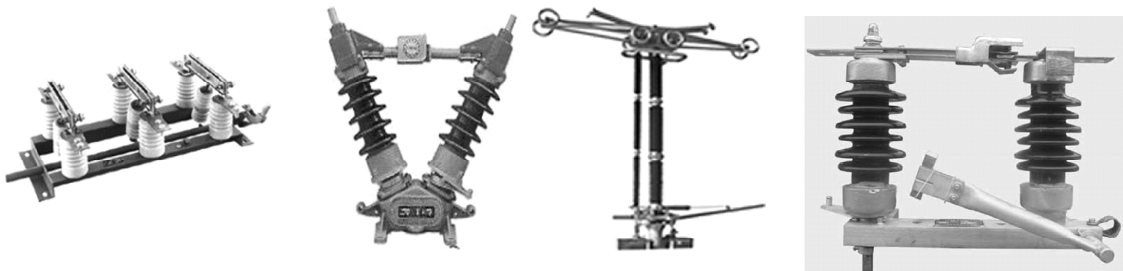
(1) 高压断路器的操作机构的组成。操动机构由动力机构，扣住机构、脱扣机构等组成。传动机构由拉杆、提升机构、缓冲机构等组成。

(2) 高压断路器的操作机构的分类。手动型 (S)、电磁型 (D)、液压型 (Y)、气压型 (Q)、弹簧型 (T)。

2. 高压隔离开关

高压隔离开关（文字符号为 QS）主要用于隔离高压电源，以保证其他设备和线路的安全检修。图 2-15 所示为高压隔离开关产品实物图。

高压隔离开关具有明显的分断间隙，因此，它主要用来隔离高压电源，保证安全检修，并能通断一定的小电流（如 2A 以下的空载变压器励磁电流、电压互感器回路电流、5A 以下的空载线路的充电电流）。它没有专门的灭弧装置，因此，不允许切断正常的负荷电流，更不能用来切断短路电流。因功率开关具有明显的分断间隙，因此，它通常与断路器配合使用。

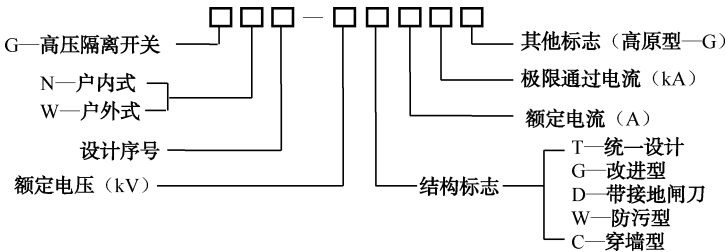


(a) GN19型户内隔离开关 (b) GW5型户内隔离开关 (c) GW46型剪刀式隔离开关 (d) GW4型户外隔离开关

图 2-15 高压隔离开关产品实物图

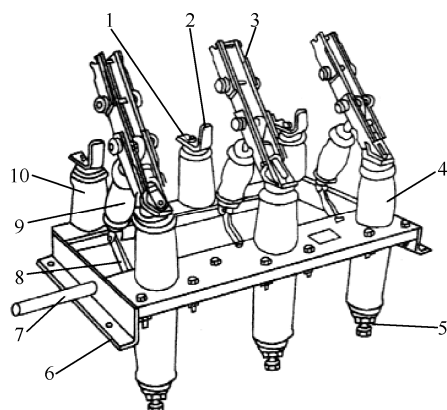
根据隔离开关的使用场所，可以把高压隔离开关分成户内和户外两大类。按有无接地开关可分为不接地、单接地和双接地三类。

隔离开关全型号的表示和含义如下：



10kV 高压隔离开关型号较多，常用的户内系列有 GN8、GN19、GN24、GN28 和 GN30 等。图 2-16 为 GN8-16/600 型户内高压隔离开关外形图，它的三相闸刀安装在同一底座上，闸刀采用垂直回转运动方式，GN 型高压隔离开关一般采用手动操作机构进行操作。

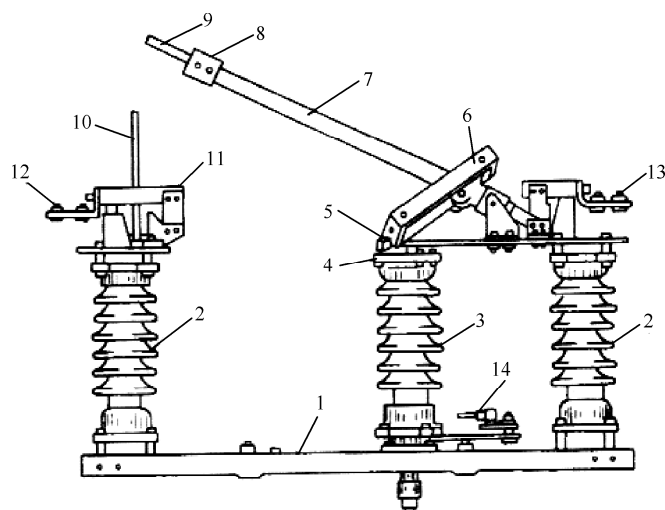
户外隔离开关常用的有 GW4、GW5、GW1 系列。图 2-17 为 GW4-35 型户外高压隔离开关外形图。为了熄灭小电流电弧，该隔离开关安装有灭弧角条，采用的是三柱式结构。



1—上接线端子；2—静触点；3—闸刀；4—套管绝缘子；5—下接线端子；6—框架；

7—转轴；8—拐臂；9—升降绝缘子；10—支柱绝缘子

图 2-16 GN8-16/600 型户内高压隔离开关外形图



1—角钢架；2—支柱瓷瓶；3—旋转瓷瓶；4—曲柄；5—轴套；6—传动装置；7—管形闸刀；

8—工作动触点；9、10—灭弧角条；11—插座；12、13—接线端子；14—曲柄传动机构

图 2-17 GW4-35 型户外高压隔离开关外形图

带有接地开关的隔离开关称为接地隔离开关，可将电气设备进行短接、联锁和隔离，一般是用隔离开关将退出运行的电气设备和成套设备部分接地和短接。而接地开关是用于将回路接地的一种机械式开关装置。在异常条件下（如短路情况下），可在规定时间内承载规定的异常电流；在正常回路条件下，不要求承载电流。大多与隔离开关构成一个整体，并且在接地开关和隔离开关之间有相互联锁装置。

在操作隔离开关时应注意操作顺序，停电时先拉线路侧隔离开关，送电时先合母线侧隔离开关。在操作隔离开关前，应注意检查断路器是否在断开位置。

#### 1) 合上隔离开关时的操作

(1) 无论用手动传动装置或用绝缘操作杆操作，均必须迅速而果断，但在合闸终了时用力不可过猛，以免损坏设备，导致机构变形、瓷瓶破裂等。

(2) 隔离开关操作完毕后，应检查是否合上。合好后应使隔离开关完全进入固定触点，并检查接触的严密性。

2) 拉开隔离开关时的操作

(1) 开始时应慢而谨慎，当刀片刚要离开固定触点时应迅速。特别是切断变压器的空载电流、架空线路和电缆的充电电流、架空线路小负荷电流及环路电流时，拉开隔离开关时更应迅速果断，以便能迅速消弧。

(2) 拉开隔离开关后，应检查隔离开关每相确实已在断开位置并应使刀片尽量拉到头。

3) 误拉、误合隔离开关时的操作

(1) 误合隔离开关时。即使合错，甚至在合闸时发生电弧，也不准将隔离开关再拉开。因为带负荷拉开隔离开关，将造成三相弧光短路事故。

(2) 误拉隔离开关时。在刀片刚要离开固定触点时，便发生电弧，这时应立即合上，可以消灭电弧，避免事故。如果隔离开关已经全部拉开，则绝不允许将误拉的隔离开关再合上。

如果是单极隔离开关，操作一相后发现误拉，对其他两相则不允许继续操作。

3. 高压负荷开关

高压负荷开关（文字符号为 QL）能通断正常的负荷电流和过负荷电流，隔离高压电源。高压负荷开关只有简单的灭弧装置，因此，它不能切断或接通短路电流。高压负荷开关使用时通常与高压熔断器配合使用，利用熔断器来切断短路故障。根据高压负荷开关的简单灭弧装置中所采用的灭弧介质的不同，高压负荷开关可分为固定产气式、压气式、油管式、真空式、SF<sub>6</sub> 式等。按安装场所分类，也有户内式和户外式两种。组合式高压负荷开关产品实物图如图 2-18 所示。

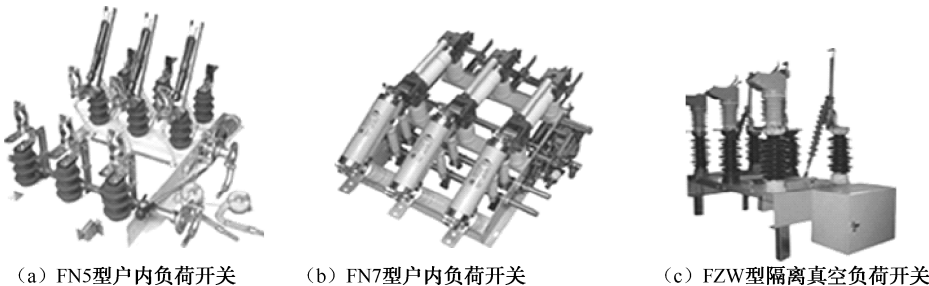


图 2-18 组合式高压负荷开关产品实物图

高压负荷开关全型号的表示和含义如下：

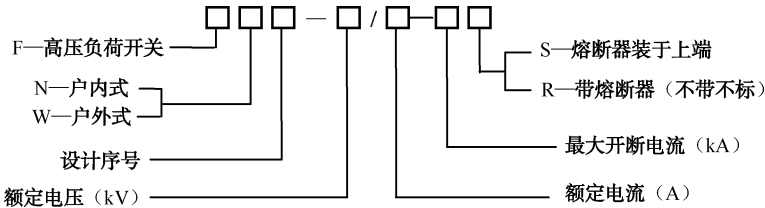


图 2-19 为 FN3-10RT 型高压负荷开关结构示意图。负荷开关上端的绝缘子是一个简单的灭弧室，它不仅起到支撑绝缘子的作用。而且内部是一个汽缸，装有操动机构主轴传动的活塞，绝缘子上部装有绝缘喷嘴和弧静触点。当负荷开关分闸时，闸刀一端的弧动触点与弧静触点之间产生

电弧,同时分闸时主轴转动而带动活塞,压缩汽缸内的空气,从喷嘴向外吹弧,使电弧迅速熄灭。其外形与户内式隔离开关相似,也具有明显的断开间隙,故它同时具有隔离开关的作用。

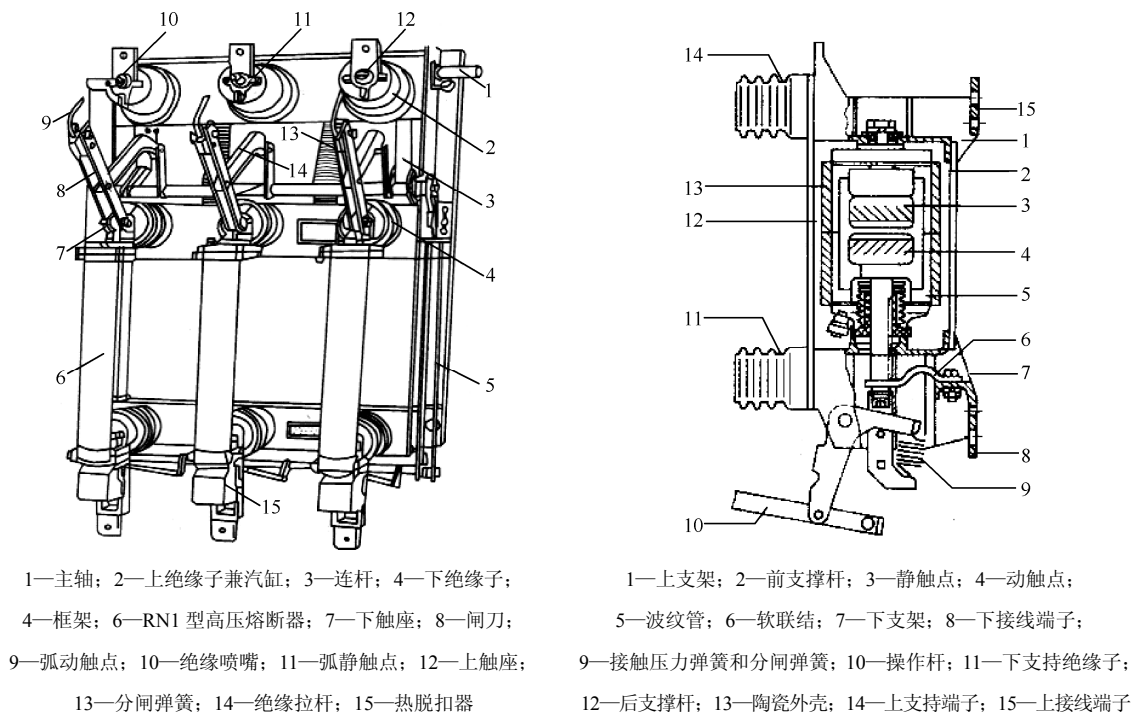


图 2-19 FN3-10RT 型高压负荷开关结构示意图

西门子公司 12kV 的真空负荷开关是利用真空灭弧原理来工作的,因而能可靠完成开断工作。其特点是可频繁操作,配用手动操作机构或电动操作机构,灭弧性能好、使用寿命长。但必须和熔断器配合,才能开断短路电流,而且开断时,不形成隔离间隙,不能作隔离开关用。它一般用于 220kV 及以下电网中。

六氟化硫 ( $\text{SF}_6$ ) 负荷开关(如 FW11-10 型)、油浸式负荷开关(如 FW2、FW4 型)的基本机构都为三相共箱式,其中六氟化硫负荷开关利用  $\text{SF}_6$  气体作为灭弧和绝缘介质,而油浸式负荷开关是利用绝缘油作为灭弧和绝缘介质,它们的灭弧能力强,容量大,但都必须与熔断器串联使用才能断开短路电流,而且断开后无可见间隙,不能作隔离开关用,适用于 25kV 及以下的户外电网。

#### 4. 高压熔断器

熔断器是一种结构简单、应用最广泛的保护电器。一般由熔管、熔体、灭弧填充物、指示器、静触座等构成。

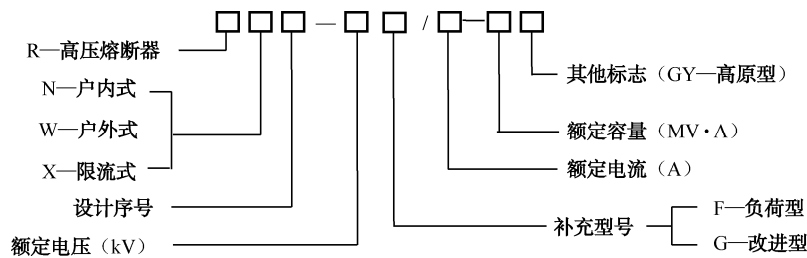
熔断器分为限流式和不限流式两种。限流式熔断器的灭弧能力强,可以在短路电流上升到最大值之前灭弧。

工厂配电系统中,对容量小而且不太重要的负载,广泛使用高压熔断器作为输、配电线路及电力变压器(包括电压互感器)的短路及过载保护,它既经济又能满足一定的可靠性。高压熔断器户内广泛采用 RN1、RN2 型高压管式熔断器,户外则广泛采用 RW4、RW10 型等跌落式熔断器。图 2-20 为高压熔断器实物图。



图 2-20 高压熔断器实物图

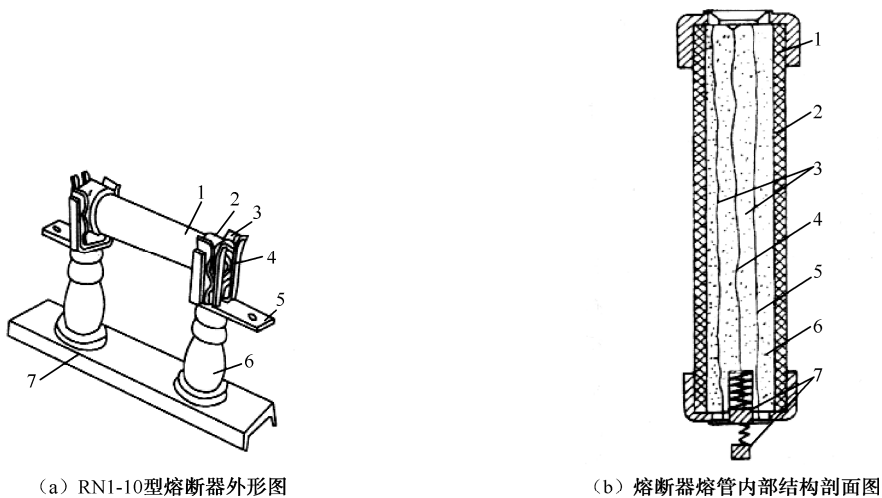
高压熔断器全型号的表示和含义如下：



1) RN1 和 RN2 型户内式熔断器

RN1 型和 RN2 型熔断器的结构基本相同，都是瓷质熔管内充填石英砂填料的密封管式熔断器。

图 2-21 (a) 为 RN1-10 型熔断器外形图，图 2-21 (b) 为其熔断器熔管内部结构剖面图。



(a) RN1-10型熔断器外形图  
1—瓷熔管；2—金属管帽；3—弹性触座；4—熔断指示器；  
5—接线端子；6—瓷绝缘支柱；7—底座

(b) 熔断器熔管内部结构剖面图  
1—金属管帽；2—瓷熔管；3—工作熔体；4—指示熔体；  
5—锡球；6—石英砂填料；7—熔断指示器（熔断后弹出状态）

图 2-21 RN1-10 型熔断器

其主要组成部分：熔管、触座、动作指示器、绝缘子和底座。熔管一般为瓷质管，熔丝由单根或多根镀银的细铜丝并联绕成螺旋状，熔丝上焊有小锡球。

当短路电流或过负荷电流通过熔体使工作熔体熔断后,接着指示熔体熔断的红色熔断指示器弹出,表示熔体已熔断。这种熔断器熔体熔断所产生的电弧是在填充石英砂的密闭瓷管内燃烧,因此,这种熔断器灭弧能力很强,能在短路电流未达到其冲击值之前将电弧熄灭,为限流式熔断器。RN1 型主要作为高压线路和变压器的短路保护和过负荷保护,结构尺寸较大。RN2 型只用做电压互感器一次侧的短路保护,其电流一般为 0.5A,结构尺寸较小。

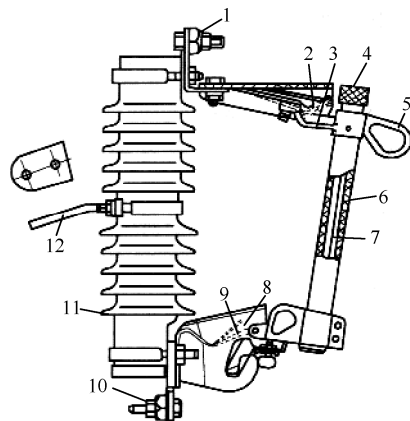
RN2 型和 RN1 型熔断器的主要区别:它由三种不同截面的康铜丝绕在陶瓷芯上,并且无熔断指示器,由电压互感器二次侧仪表的读数来判断其熔断情况;由于电压互感器的二次侧近乎于开路状态,RN2 型的额定电流仪表为 0.5A,而 RN1 型的额定电流从 2~300A 不等。

## 2) RW 系列户外式熔断器

RW 系列跌落式熔断器又称跌落开式熔断器,被广泛用于环境正常的户外场所,作高压线路和设备的电路保护用。

### (1) 一般户外跌落式熔断器(文字符号为 FD)。

图 2-22 为 RW4-10 型高压跌落式熔断器外形结构图。它串接在线路中,可利用绝缘钩棒(又称令克棒)直接操作熔管的分、合,此功能相当于隔离开关。



1—接线端子；2—上静触点；3—上动触点；4—管帽（带薄膜）；5—操作环；6—熔管（外层为酚醛纸管或环氧玻璃布管，内衬纤维质消弧管）；7—铜熔丝；8—下动触点；9—下静触点；10—下拉线端子；11—绝缘子；12—固定安装板

图 2-22 RW4-10 型高压跌落式熔断器外形结构图

RW4 型熔断器没有带负荷灭弧装置,因此,不允许带负荷操作;它的灭弧能力不强,速度不快,不能在短路电流达到冲击电流值前熄灭电弧,属于“非限流式熔断器”。常用于额定电压为 10kV,额定容量为 315kW 及以下电力变压器的过流保护,尤其以居民区、街道等场合居多。

### (2) 负荷型跌落式熔断器(文字符号为 FDL)。

图 2-23 为 RW10-10 型高压跌落式熔断器外形结构图。RW10-10 型跌落式熔断器是在一般户外跌落式熔断器的上静触点上加装了简单的灭弧室,因而能带负荷操作。但该类型熔断器的灭弧能力不是很强,灭弧速度也不快,不能在短路电流达到冲击电流前熄灭电弧,因此,也属于非限流式熔断器。

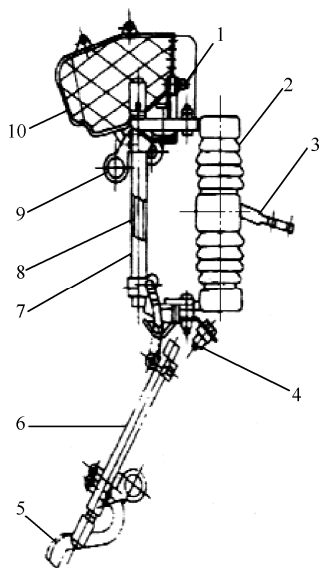
### (3) 限流式户外高压熔断器(文字符号为 FU)。

图 2-24 为 RW10-35 型户外限流式熔断器外形结构图。该熔断器的瓷质熔管内充有石英砂,熔体结构和 RN 型的户内高压熔断器相似,因此,它的短路和过负荷保护功能与户内高压熔断

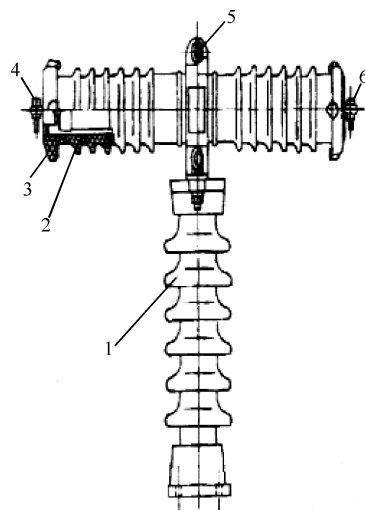
器相同。这种熔断器的熔管是固定在棒形支柱绝缘子上的，因此，熔体熔断后不能自动跌开，无明显可见的断开间隙，不能作“隔离开关”用。

(4) RW-B 系列的高压爆炸跌落熔断器。其结构和 RW 系列基本相似，有 B 型和 BZ 型两种。B 型为自爆跌落式，BZ 型是爆炸重合跌落式。区别为 BZ 型熔断器每相有两根熔管，若为瞬时故障，可投入重合熔管来保证系统继续工作；如果是永久性故障，则重合熔管会再动作一次，将故障切除，以保护系统。图 2-24 是 RW-35 型户外限流式熔断器外形结构图。

(5) HH-熔断器是一种高压高分断能力的熔断器，它能在电路电流产生的瞬间就将其开断，有效地保护电气设备和电气线路免受巨大的电路电流造成的危害。



1—上接线端子；2—绝缘瓷瓶；3—固定安装板；4—下接线端子；  
5—灭弧触点；6—熔丝管（打开位置）；7—熔丝管（闭合位置）；  
8—熔丝；9—操作环；10—灭弧罩



1—棒形支柱绝缘子；2—资质熔管（内装特制熔体及石英砂）；  
3—钢管帽；4、6—接线端子；5—固定抱箍

图 2-23 RW10-10 型高压跌落式熔断器外形结构图

图 2-24 RW10-35 型户外限流式熔断器外形结构图

### 2.2.3 电流互感器和电压互感器

电流互感器（文字符号 TA）和电压互感器（文字符号 TV）统称为互感器，它们其实就是一种特殊的变压器。互感器在变配电系统中具有极其重要的作用。作为供配电技术中一次系统和二次系统之间的联络元件，可把一次侧的高电压、大电流转换成二次侧标准的低电压 220V 和小电流 5A，使二次电路正确反映一次系统的正常运行和故障情况。

- (1) 变换功能——把高电压和大电流变换为低电压和小电流，便于连接测量仪表和继电器。
- (2) 隔离作用——使仪表、继电器等二次设备与主电路绝缘。
- (3) 扩大仪表、继电器等二次设备应用的电流范围，使仪表、继电器等二次设备的规格统一，有利于批量生产。

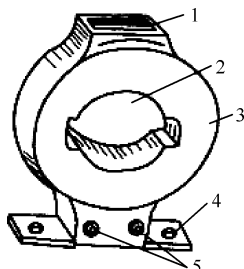
#### 1. 电流互感器

##### 1) 电流互感器的结构和原理

电流互感器的类型很多，如按一次绕组的匝数分类，可分为单匝式和多匝式；按用途分类，

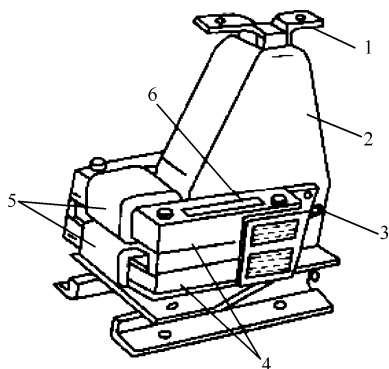


可分成测量用和保护用；按绝缘介质分类，可分为油浸式和干式等。常用的电流互感器外形结构如图 2-25 和图 2-26 所示。



1—铭牌；2—一次母线穿孔；3—铁芯（外绕二次绕组，环氧树脂浇注）；4—安装板；5—二次接线端子

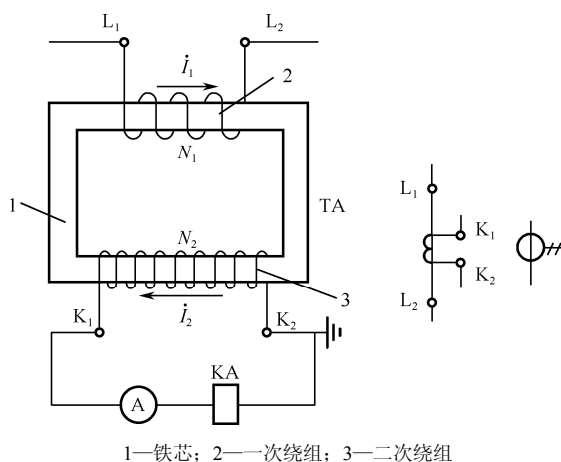
图 2-25 LMZJ1-0.5 型电流互感器



1—一次接线端子；2—一次绕组（环氧树脂浇注）；3—二次接线端子；4—铁芯（两个）；  
5—二次绕组（两个）；6—警告牌（上写“二次侧不得开路”等字样）

图 2-26 LQJ-10 型电流互感器

电流互感器的基本结构、原理接线示意图如图 2-27 所示。



1—铁芯；2—一次绕组；3—二次绕组

图 2-27 电流互感器的基本结构、原理接线示意图

电流互感器的一次电流  $I_1$  与其二次电流  $I_2$  之间有下列关系，即

$$I_1 \approx (N_2/N_1)I_2 \approx K_i I_2$$

式中  $K_i$ ——电流互感器的变流比。

变流比通常又表示为额定一次电流和二次电流之比，即  $K_i = I_{N1}/I_{N2}$ ，如 100A/5A。

不同类型的电流互感器的结构特点不同，但归纳起来有下列共同点：

(1) 电流互感器的一次绕组匝数很少，二次绕组匝数很多，如芯柱式的电流互感器一次绕组为一穿过铁芯的直导线；母线式和套管式电流互感器本身没有一次绕组，使用时穿入母线和套管，利用母线或套管中的导体作为一次绕组。

(2) 一次绕组导体粗，二次绕组导体细，二次绕组的额定电流一般为 5A（有的为 1A）。

(3) 工作时，一次绕组串联在一次电路中，二次绕组串联在仪表、继电器的电流线圈回路中。二次回路阻抗很小，二次回路接近于短路状态。

## 2) 电流互感器的接线方案

电流互感器在三相电路中常见的四种接线方案，如图 2-28 所示。

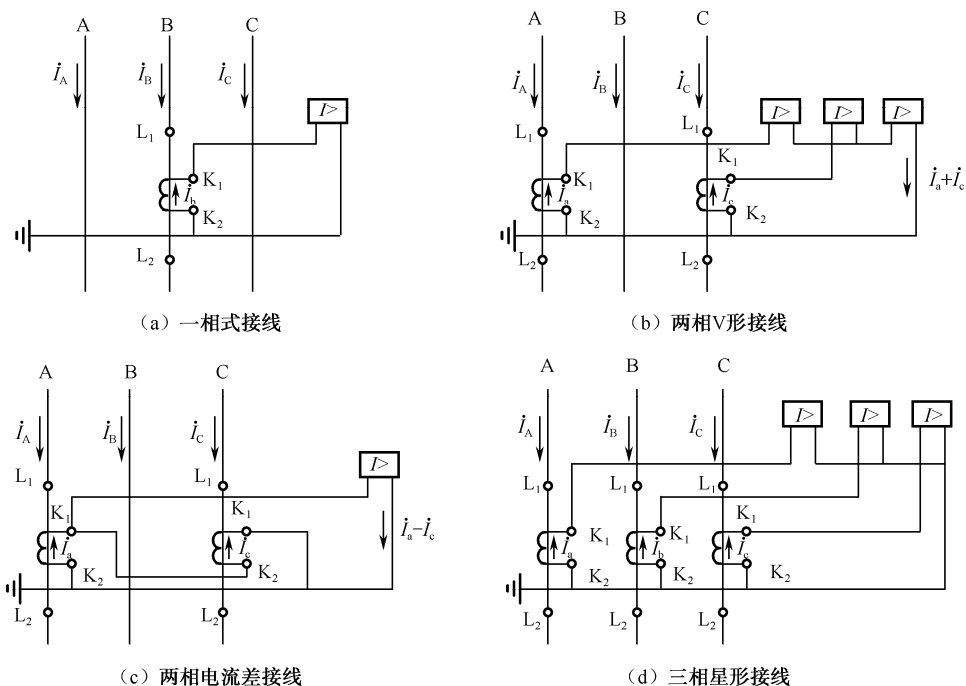


图 2-28 电流互感器常见的四种接线方案

(1) 一相式接线。如图 2-28 (a) 所示，这种接线在二次侧电流线圈中通过电流，反映一次电路对应相的电流。这种接线通常用于负荷平衡的三相电路，供测量电流和接负荷保护装置用。

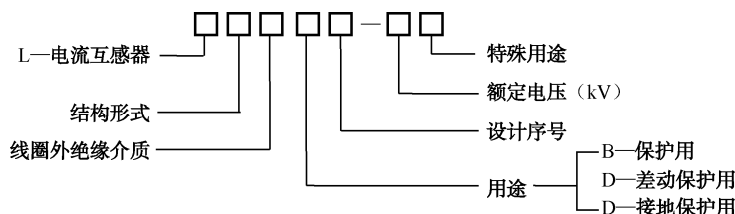
(2) 两相电流和接线（两相 V 形接线）。如图 2-28 (b) 所示，这种接线又称两相不完全星形接线，电流互感器通常接于 A、C 相上，流过二次侧电流线圈的电流，反映一次电路对应相的电流，而流过公共电流线圈的电流为  $i_a + i_c = -i_b$ ，它反映了一次电路 B 相的电流。这种接线广泛应用于 6~10kV 高压线路中，测量三相电能、电流和作过负荷保护用。

(3) 两相电流差接线。如图 2-28 (c) 所示，这种接线也常把电流互感器接于 A、C 相，在三相短路对称时流过二次侧电流线圈的电流为  $i = i_a - i_c$ ，其值为相电流的  $\sqrt{3}$  倍。这种接线

在不同短路故障下，反映到二次侧电流线圈的电流各自不同，因此，对不同的短路故障具有不同的灵敏度。这种接线主要用于 6~10kV 高压短路中的过电流保护。

(4) 三相星形接线。如图 2-28 (d) 所示，这种接线流过二次侧电流线圈的电流分别对应主电路的三相电流，它广泛用于负荷不平衡的三相四线制系统和三相三线制系统中，用做电能、电流的测量及过电流保护。

电流互感器全型号的表示和含义如下：



其中结构形式的字母含义如下：

R—套管式；Z—支柱式；Q—线圈式；F—贯穿式（复匝）；D—贯穿式（单匝）；M—母线式；B—支持式；A—穿墙式。

线圈外绝缘介质的字母含义如下：

Z—浇注绝缘；C—瓷绝缘；J—树脂浇注；K—塑料外壳；W—户外式；M—母线式；G—改进式；Q—加强式。

### 3) 电流互感器使用注意事项及处理方法

(1) 电流互感器在工作时二次侧不能开路。如果开路，二次侧会出现危险的高电压，危及设备及人身安全。而且铁芯会由于二次开路磁通剧增而过热，并产生寸磁，使得互感器准确度降低。因此，电流互感器安装时，二次侧接线要牢固，且二次回路中不允许接入开关和熔断器。

实际工作中，往往发现电流互感器二次侧开路后，并没有什么异常现象。这主要是因为一次电路中没有负载电流或负载很轻，铁芯没有磁饱和的缘故。

在带电检修和更换二次仪表、继电器时，必须先将电流互感器二次侧短路，才能拆卸二次元件。运行中，如果发现电流互感器二次侧开路，应及时将一次电路电流减小或降至零，将所带的继电保护装置停用，并采用绝缘装置进行处理。

(2) 电流互感器的二次侧必须有一端接地。以防止其一、二次绕组间绝缘击穿时，一次侧高压窜入二次侧，危及人身安全和测量仪表、继电器等设备的安全。电流互感器在运行中，二次绕组应与铁芯同时接地运行。

(3) 电流互感器在连接时必须注意端子极性，防止接错线。例如，在两相电流和接线中，如果电流互感器的  $K_1$ 、 $K_2$  端子接错，则公共线中的电流就不是相电流，而是相电流的  $\sqrt{3}$  倍，可能使电流表损坏。

### 4) 电流互感器的操作和维护

电流互感器的运行和停用，通常是在被测量电路的断路器断开后进行的，以防止电流互感器的二次线圈开路。但在被测电路中断路器不允许断开时，只能在带电情况下进行。

在停电时，停用电流互感器应将纵向连接端子板取下，将标有“进”侧的端子横向短接。在启用电流互感器时，应将横向短接端子板取下，并用取下的端子板将电流互感器纵向端子接通。

在运行中,停用电流互感器时,将标有“进”侧的端子先用备用端子板横向短接,然后取下纵向端子板。在启用电流互感器时,应使用备用端子板将纵向端子接通,然后取下横向端子板。

在电流互感器启、停用时,应注意在取下端子板时是否出现火花。如果发现火花,应立即把端子板装上并拧紧,然后查明原因。工作中,操作员应站在绝缘垫上,身体不得碰到接地物体。

电流互感器在运行中,值班人员应定期检查下列项目:电流互感器是否有异声及焦味;互感器接头是否有过热现象;互感器油位是否正常,有无漏油、渗油现象;互感器瓷质部分是否清洁,有无裂痕、放电现象;互感器的绝缘情况。

电流互感器的二次侧开路是最主要的事故。在运行中造成开路的原因:端子排上导线端子的螺丝因受振而脱扣;保护屏上的压板未与铜片接触而压在胶木上,造成保护回路开路;可读三相电流值的电流表的切换开关经切换而接触不良;机械外力使互感器二次线断线等。

在运行中,如果电流互感器二次开路,则会引起电流保护的不正确动作,铁芯发出异声,在二次绕组的端子处会出现放电火花。此时,应先将一次电流减少或降至零,然后将电流互感器所带保护退出运行。采取安全措施后,将故障互感器的端子短路,如果电流互感器有焦味或冒烟,应立即停用互感器。

#### 5) 电流互感器的配置原则

首先,应在每条支路的电源侧装设足够数量的电流互感器,供各支路测量、保护使用。其次,由于电流互感器一般与电路中的断路器紧邻布置,所以,安装时应与保护与测量用的电流互感器分开,且尽量把电能计量仪表互感器与一般测量用互感器分开。电能计量仪表互感器必须使用 0.5 级互感器,其正常工作电流是普通电流互感器额定电流的  $2/3$  左右。

(1) 保护用电流互感器的安装位置应尽量扩大保护范围,以减小主保护的保护区。对于大接地电流系统而言,一般应三相配置,以反映单相接地故障;小电流接地系统发电机、变压器支路也要三相配置,以便监视不对称程度,其余一般配置 A、C 两相。

(2) 为了减轻内部故障时发电机的损伤,自动调节励磁装置的电流互感器应布置在发电机定子绕组的出线侧,以便于分析及在发电机并入系统前发现内部故障。用于测量仪表的电流互感器通常安装在发电机中性点侧。

(3) 差动保护元件的端口配置电流互感器时,各端口应属于同一电压等级,互感器变比应相同,接线方式也要相同。

(4) 通常电流互感器应布置在断路器的出线侧或变压器侧。

## 2. 电压互感器

### 1) 电压互感器的功能、类型和结构特点

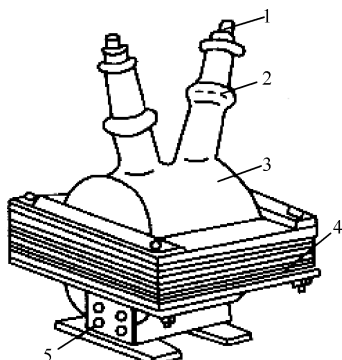
电压互感器的种类很多,按相数分类,有单相电压互感器和三相电压互感器;按绝缘方式和冷却方式分类,有油浸式和干式;按用途分类,有测量用和保护用;按结构原理分类,有电磁感应式和电容分压式等。JDZJ-10 型电压互感器外形结构如图 2-29 所示。

电压互感器的基本结构、原理接线图如图 2-30 所示,它的结构特点如下:

(1) 一次绕组匝数很多,二次绕组匝数很少,相当于一个降压变压器。

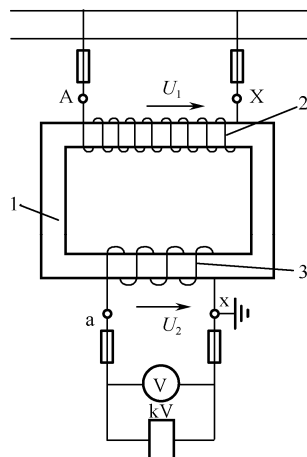
(2) 工作时一次绕组并联在一次电路中,二次绕组并连接仪表、继电器的电压线圈回路,二次绕组负载阻抗很大,接近于开路状态。

(3) 一次绕组导线细，二次绕组导线较粗，二次侧额定电压一般为 100V，用于接地保护的电压互感器的二次侧额定电压为  $100\sqrt{3}\text{V}$ ，开口三角形侧为  $100/3\text{V}$ 。



1—一次接线端子；2—高压绝缘套管；3—二次绕组；  
4—铁芯；5—二次接线端子

图 2-29 JDZJ-10 型电压互感器外形结构



1—铁芯；2—一次绕组；3—二次绕组

图 2-30 电压互感器的基本结构、原理接线图

## 2) 电压互感器的接线方案

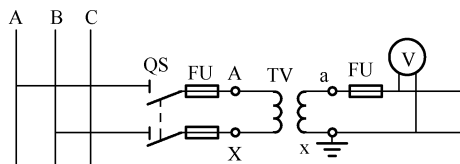
电压互感器的四种常见接线方案，如图 2-31 所示。

(1) 一个单相电压互感器的接线。如图 2-31 (a) 所示，这种接线方式常用于供仪表、继电器接于三相电路的一个线电压。

(2) 两个单相电压互感器接成 V/V 形。如图 2-31 (b) 所示，这种接线方式常用于供仪表、继电器接于三相三线制电路的各个线电压，广泛应用于工厂变配电所 10kV 高压配电装置中。

(3) 三个单相电压互感器或一个三相双绕组电压互感器  $Y_0/Y_0$  形。如图 2-31 (c) 所示，这种接线方式常用于三相三线制和三相四线制线路，用于供给要求接线电压仪表、继电器，同时也可供电给要求接相电压的绝缘监察用电压表。

(4) 三个单相三绕组电压互感器或一个三相五芯柱式三绕组电压互感器接成  $Y_0/Y_0/\Delta$  形 (开口三角形)。如图 2-31 (d) 所示，这种接线方式常用于三相三线制线路。其接成  $Y_0$  形的二次绕组供电给要求线电压的仪表、继电器及要求相电压的绝缘监察用电压表；接成开口三角形的辅助二次绕组，用来连接绝缘监察用的电压继电器。



(a) 一个单相电压互感器的接线

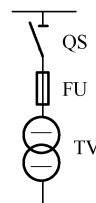


图 2-31 电压互感器的四种常用接线方案

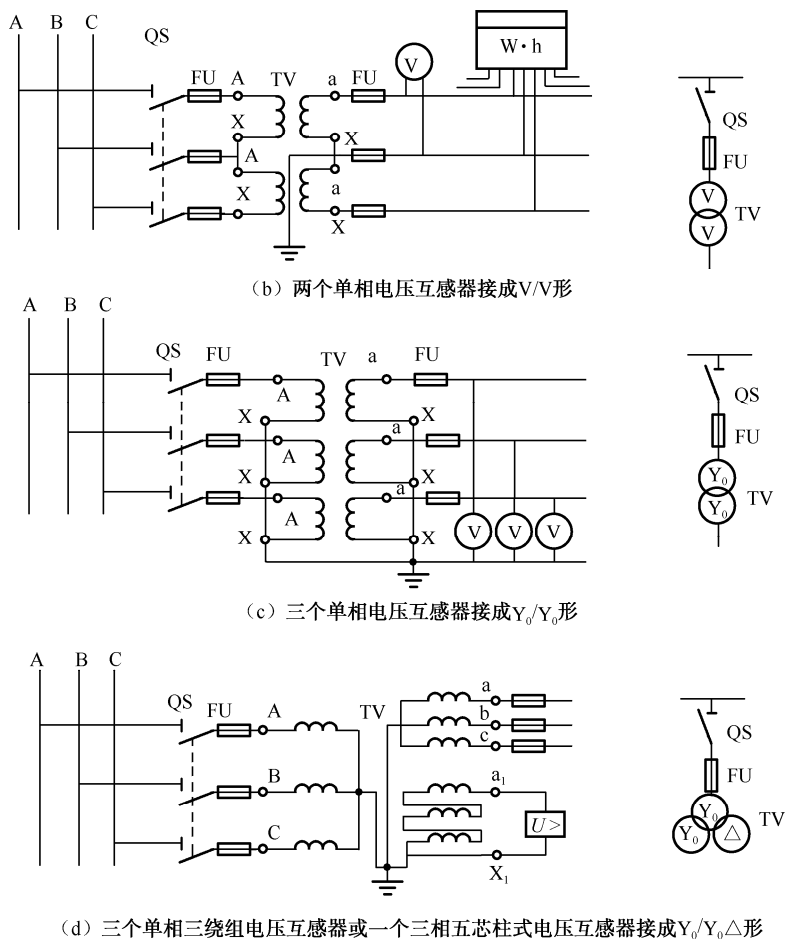
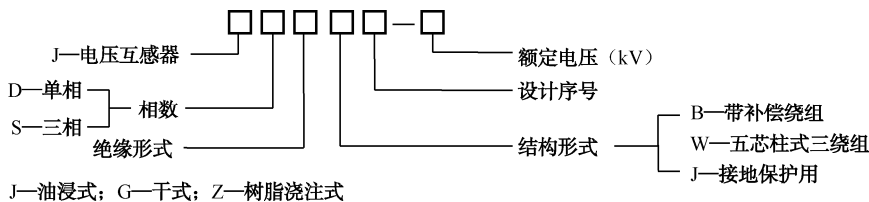


图 2-31 电压互感器的四种常用接线方案（续）

电压互感器全型号的表示和含义如下：



### 3) 电压互感器的使用注意事项及处理方法

(1) 电压互感器在工作时二次侧不能短路。因互感器是并联在线路上的，如发生短路将产生很大的短路电流，有可能烧毁电压互感器，甚至危及一次系统的安全运行。所以，电压互感器的一、二次侧都必须实施短路保护，装设熔断器。

当发现电压互感器的一次侧熔丝熔断后，首先应将电压互感器的隔离开关拉开，并取下二次侧熔丝，检查是否熔断。在排除电压互感器本身的故障后，可重新更换合格的熔丝后将电压互感器投入运行。若二次侧熔断器一相熔断时，应立即更换。若再次熔断，则不应更换，待查明原因后处理。

(2) 电压互感器二次侧有一端必须接地。以防止电压互感器一、二次绕组绝缘击穿时，一次侧的高压窜入二次侧，危及人身和设备安全。

(3) 电压互感器接线时必须注意极性，防止因接错线而引起事故。单相电压互感器分别标 A、X 和 a、x。三相电压互感器分别标 A、B、C、N 和 a、b、c、n。

(4) 电压互感器的运行与维护。电压互感器在额定容量下允许长期运行，但不允许最大容量运行，电压互感器在运行中不能短路。在运行中，值班员注意检查二次回路是否有短路现象，并及时消除。当电压互感器二次回路短路时，一般情况下高压熔断器不会熔断，但此时电压互感器内部有异声，将二次熔断器取下后异声停止，其他情况与断线情况相同。

#### 4) 电压互感器的配置原则

首先，电压互感器的配置应满足测量、保护、同期和自动调节装置的要求。其次在保护运行方式发生改变时，保证保护装置不失压，同期点两侧都能方便地取得电压，其配置原则如下：

(1) 母线：6~220kV 电压等级的每组主母线，其三相上均应安装电压互感器，旁路母线侧安装与否，应视回路出线外侧装设电压互感器的需要而确定。

(2) 线路：实用中为供同期和自动重合闸使用，需要监视和检测线路断路器外侧有无电压，这时可在线路断路器外侧装一台单相电压互感器。

(3) 发电机：通常在发电机出口处装两组电压互感器。其中一组由三只单相电压互感器构成的 D, y 接线方式电压互感器，用来自动调节励磁装置；另一组电压互感器采用三相五柱式或三只单相接地专用电压互感器，接成 Y, y,  $\Delta$  接线，辅助绕组接成开口三角形，供测量仪表、同期和继电保护设备相连，供绝缘监视用。当互感器负荷太大时，可增设一组不完全三角形连接的互感器，专供测量仪表使用，50MW 及以下发电机中性点还常设一个单相电压互感器，用于定子接地保护。

(4) 变压器：变压器低压侧有时为了满足同步或继电保护的要求，常设有一组电压互感器。

### 3. 互感器的极性及其测试

#### 1) 减极性与加极性

与变压器一样，互感器在运行中，其一次绕组与二次绕组的感应电动势  $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$  的瞬时极性是不断变化的，但它们之间有一定的对应关系。一、二次侧绕组的首端要么同为正极性（末端为负极性），要么一正、一负。当绕组的首、末端规定后，绕组间的这种极性对应关系就取决于绕组的绕向。我们把电磁感应过程中，一、二次绕组感应出相同极性的两端称为同名端，感应出相反极性的两端称为异名端。

在一次绕组的首端通入一个正在增大的电流，则该端将感应出正极性，二次绕组的首端也感应出正极性。如果二次回路是闭合的，则将有感应电流从该端流出。根据电流的这一对应关系，可以判别绕组的首端。此外，还可以采取这样的方法，按图 2-32 所示接线，把一、二次绕组的两个末端短接，在一侧加交流对应  $U_1$ ，另一侧感应出电压  $U_2$ ，测量两个绕组首端间的电压  $U_3$ 。若  $U_3=|U_1-U_2|$ ，则两个首端（或末端）为同名端；若  $U_3=|U_1+U_2|$ ，则两个首端（或末端）为异名端。

互感器若按照同名端来标记一、二次绕组对应的首尾端，这样的标记称为“减极性”标记（ $L_1$  与  $K_1$  为同名端），反之则称为“加极性”标记法（ $L_1$  与  $K_1$  为异名端）。在电工技术中通常采用“减极性”标记法。

## 2) 互感器同名端的测定

(1) 直流法。直流法接线如图 2-32 所示。在电流互感器的一次线圈（或二次线圈）上，通过按钮开关 SB 接入 1.5~3V 的干电池 E， $L_1$  接干电池正极， $L_2$  接干电池的负极。在二次绕组两端接低量程直流电压表或电流表。仪表的正极接  $K_1$ ，负极接  $K_2$ ，按下 SB 接通电路时，若直流电流表或直流电压表指针正偏为减极性（ $L_1$  与  $K_1$  为同名端），反偏为加极性（ $L_1$  与  $K_1$  为异名端）；如 SB 打开切断电路时，指针反偏为减极性，正偏为加极性。

直流法测定极性简便易行，结果准确，是现场常用的一种方法。

(2) 交流法。交流法接线如图 2-33 所示。将电流互感器一、二次侧绕组的尾端  $L_2$ 、 $K_2$  连在一起。在匝数较多的二次绕组上通以 1~5V 的交流电压  $U_1$ ，再用 10V 以下的小量程交流电压表测量  $U_2$  及  $U_3$  的数值。若  $U_3=U_1-U_2$  则为减极性，若  $U_3=U_1+U_2$  则为加极性。

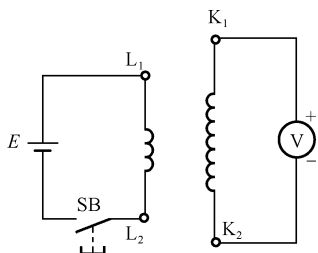


图 2-32 直流法测定绕组极性接线

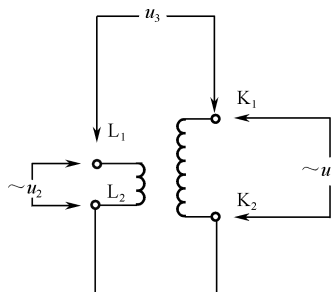


图 2-33 交流法测定绕组同名端

在测定中应注意通入电压  $U_1$  尽量低，只要电压表的读数能看清楚即可，以免电流太大损坏线圈。为读数清楚，电压表的量程应尽量小些。当电流互感器的电流比较大（10 倍以上）时，因  $U_2$  的数值较小， $U_1$  与  $U_3$  的数值很接近，电压表不易区别大小，故不宜采用此测定方法。

(3) 仪表法。一般的互感器校验仪都带有极性指示器，因此，在测定电流互感器误差之前，便可预先检查极性。若极性指示器没有指示，则说明被测电流互感器极性正确（减极性）。

## 实操训练 3 高压电器认识实训

### 1. 实训目的

(1) 通过对各种常用的高压电器解体进行观察，了解它们的基本结构、动作原理、使用方法及主要技术性能等。

(2) 通过对有关高压开关柜结构及内部设备的观察，了解其基本结构、柜内主接线方案、主要设备的布置及开关的操作方法等。

(3) 通过拆装高压少油断路器，进一步了解其内部结构和工作原理，着重了解其灭弧结构和灭弧工作原理。

### 2. 实训设备

有供实训观察和拆装的各种常用的高压电器（包括 RN1、RN2 型高压熔断器，RW 型跌落式熔断器，10kV 电压等级高压隔离开关、高压负荷开关、高压断路器及其操动机构）和高压开关柜（固定式或手车式），并有供拆装的未装油的高压少油断路器。



如限于实训设备条件无法开设本实训时，可通过录像教学或现场参观等方式予以弥补。

### 3. 高压电器的观察研究

(1) 观察各种高压熔断器（包括跌落式熔断器），了解其结构，分析相关工作原理，掌握其保护性能和使用方法。

(2) 观察各种 10kV 电压等级高压开关（包括隔离开关、负荷开关和断路器）及其操动机构，了解相关电器工作原理、性能和使用操作要求、操作方法。

(3) 观察各种高压电流互感器和电压互感器，了解其结构、工作原理和使用注意事项。

(4) 观察高压开关柜，了解其结构、主接线方案和主要设备布置，并通过实际操作，掌握其运行操作方法。对“防误型”开关柜，了解其如何实现“五防”要求。

### 4. 高压少油断路器的拆装整定

(1) 观察高压少油断路器的外形结构，记录其铭牌型号和规格。

(2) 拆开断路器的油筒，拆出其中的导电杆（动触点）、固定插座（静触点）和灭弧室等，了解它们的结构和装配关系，着重了解其灭弧工作原理。

(3) 根据工艺要求组装复原断路器，确认无误后进行三相合闸同时性的检查，并根据检查结果调整触点位置。通过该项实验检验组装效果，掌握高压少油断路器通电合闸的实训要求和实训步骤。

## 2.2.4 问题与思考

### 一、填空题

1. 高压隔离开关的文字表示符号是\_\_\_\_\_，该开关分断时具有明显的\_\_\_\_\_，因此，它通常与\_\_\_\_\_。根据高压隔离开关的使用场所，可以把高压隔离开关分成\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两类，GN8-10/600 型属\_\_\_\_\_。

2. 高压负荷开关的文字表示符号是\_\_\_\_\_，能通断\_\_\_\_\_，但不能分断\_\_\_\_\_。它往往与\_\_\_\_\_配合使用。按安装场所分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两类。FN3-10RT 型属\_\_\_\_\_。

3. 高压断路器的文字表示符号是\_\_\_\_\_，它既能分断\_\_\_\_\_也能分断\_\_\_\_\_。SN10/10 表示\_\_\_\_\_。

4. 真空断路器的触点开距\_\_\_\_\_，灭弧室\_\_\_\_\_，动作速度\_\_\_\_\_，灭弧时间\_\_\_\_\_，操作噪声\_\_\_\_\_，适用于\_\_\_\_\_操作。

5. 六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器中是利用 SF<sub>6</sub> 气体作为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的断路器。

6. 油断路器可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

7. RN1 型高压管式熔断器主要作为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的短路保护和过负荷保护，RN2 型主要用于\_\_\_\_\_一次侧短路保护，其熔体电流一般为\_\_\_\_\_ A。

8. 负荷型跌落式熔断器的表示符号是\_\_\_\_\_，是一般跌落式熔断器的上静触点上加装了简单的灭弧装置，灭弧速度\_\_\_\_\_，不能在短路电流到达冲击电流值前熄灭电弧，属于\_\_\_\_\_。

9. 电流互感器的文字表示符号是\_\_\_\_\_，它的一次绕组匝数\_\_\_\_\_，二次绕组匝数\_\_\_\_\_，工作时近乎于\_\_\_\_\_。高压电流互感器的二次绕组的两个线圈分别用做\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

10. 电压互感器的文字表示符号是\_\_\_\_\_，它的一次绕组匝数\_\_\_\_\_，二次绕组匝数\_\_\_\_\_，工作时近乎于\_\_\_\_\_。使用时二次侧不得\_\_\_\_\_。

## 二、判断题（正确的打√，错误的打×）

11. 高压隔离开关不能带负荷断电。 ( )
12. 停电时先拉母线侧隔离开关，送电时先合线路侧隔离开关。 ( )
13. 在操作隔离开关前，先注意检查断路器确实在断开位置，才能操作隔离开关。 ( )
14. 如隔离开关误合，应将其迅速合上。 ( )
15. 高压隔离开关往往与高压负荷开关配合使用。 ( )
16. 高压负荷开关也可以用做高压隔离开关。 ( )
17. 如果是单极隔离开关，操作一相后发现误拉，对其他两相则不允许继续操作。 ( )
18. 少油断路器属于高速断路器。 ( )
19. 高压真空断路器一般具有多次重合闸要求。 ( )
20. 检修六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器时要注意防毒。 ( )
21. RT 型熔断器属于限流式熔断器。 ( )
22. RN2 型熔断器可用于保护高压线路。 ( )
23. RN 型熔断器属于限流式熔断器。 ( )
24. 所用电流互感器和电压互感器的二次绕组应有永久性的、可靠的保护接地。 ( )
25. 电流互感器使用时二次侧不能开路。 ( )
26. 采用交流法测定互感器极性时，可在互感器一次侧加 220V 电源电压。 ( )

## 三、选择题

27. 选择合适的器件表示符号填入括号内：高压隔离开关（ ），高压负荷开关（ ），高压断路器（ ），高压熔断器（ ），电流互感器（ ），电压互感器（ ）。

- |       |       |        |       |
|-------|-------|--------|-------|
| A. QL | B. QF | C. QK  | D. QS |
| E. T  | F. TA | G. .FU | H. TV |

28. RW 型熔断器主要安装在（ ）。

- A. 户内                      B. 户外

29. 互感器作为仪用变压器，主要功能有（ ）。

- |            |           |
|------------|-----------|
| A. 安全隔离    | B. 分配电能   |
| C. 变换电压、电流 | D. 分断短路电流 |

30. 电流互感器的二次侧额定电流一般为（ ）。

- |        |        |       |       |
|--------|--------|-------|-------|
| A. 20A | B. 10A | C. 5A | D. 2A |
|--------|--------|-------|-------|

31. 下面哪种熔断器属于“非限流式熔断器”（ ）。

- |          |         |          |          |
|----------|---------|----------|----------|
| A. RN1 型 | B. RW 型 | C. RL1 型 | D. RT0 型 |
|----------|---------|----------|----------|

## 四、技能题

32. 画出用两只电流互感器测量三相三线短路电流的电路图。

33. 用两相和接线电流互感器情况下，如同名端接反会造成什么后果？有什么现象？

## 任务 3 低压配电屏的运行与维护

### 【任务描述】

低压配电屏是按一定的线路方案将低压一、二次电气设备组装而成的一种低压成套配电装置。在低压配电系统中用来控制受电、馈电、照明、电动机，即补偿隔离因数。本任务主要了解常用低压配电屏的内部结构，熟悉它的运行维护注意事项和巡视检查项目，学会对低压配电屏中的各种低压开关设备进行巡视和检查维护。

### 【知识链接】

#### 2.3.1 工厂变配电所常用的低压电气设备

低压电器在供配电系统中广泛应用于低压线路上，起着开关、保护、调节和控制作用。低压电器按功能分类，常分为开关电器、控制电器、调节电器、测量电器、成套电器。下面主要介绍低压开关电器。

##### 1. 低压刀开关（又称隔离开关）

低压刀开关（文字符号为 QK），是一种最普通的低压电器，适用于交流 50Hz、额定交流电压为 380V，直流电压为 440V，额定电流为 1500A 及以下的配电系统中，做不频繁手动接通和分断电路或用来隔离电源以保证安全检修之用。

为了能在短路或过电流时自动切断电路，刀开关必须与熔断器串联配合使用。刀开关的种类很多，按其灭弧结构分，有不带灭弧罩和带灭弧罩两种；按极数分，有单极、双极和三极三种；按操作方式分，有直接手柄操作和连杆操作两种；按用途分，有单投和双投两种。其额定电流等级最大为 1500A。

低压刀开关全型号的表示和含义如下：

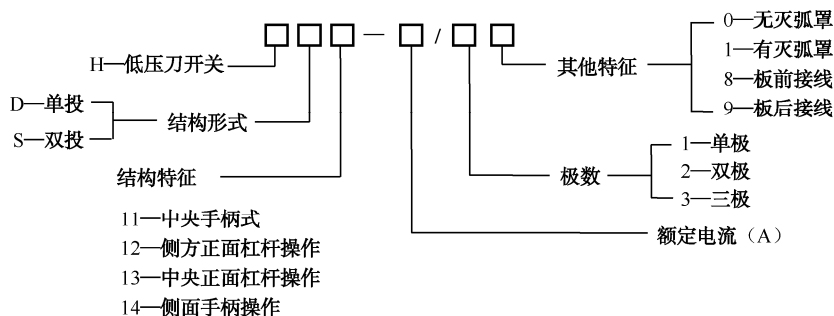
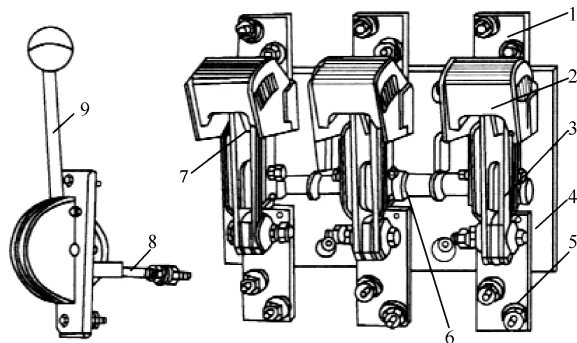


图 2-34 为 HD13 型低压刀开关外形结构图。

##### 2. 刀熔开关

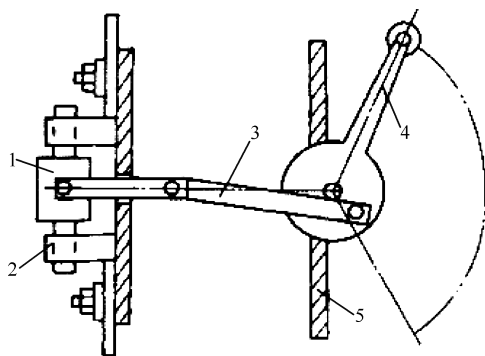
低压刀熔开关（文字符号为 QKF 或 FU-QK），又称熔断器式刀开关，是一种由低压刀开关和低压熔断器组合的开关电器。它具有刀开关和熔断器的双重功能。最常见的刀熔开关是 HR13 型刀开关，它将 HD 型刀开关的闸刀换以 RT0 型熔断器的具有刀型触点的熔管。采用这种组合型开关电器，简化了配电装置结构，经济实用，广泛用于低压配电屏上。最常见的刀熔

开关 HR3 型的结构如图 2-35 所示,它是将 HD 刀开关的闸刀换成 RT0 型熔断器的具有刀形触点的熔管。



1—上接线端子; 2—灭弧栅 (灭弧罩); 3—闸刀; 4—底座; 5—下接线端子; 6—主轴; 7—静触点; 8—连杆; 9—操作手柄

图 2-34 HD13 型低压刀开关外形结构图

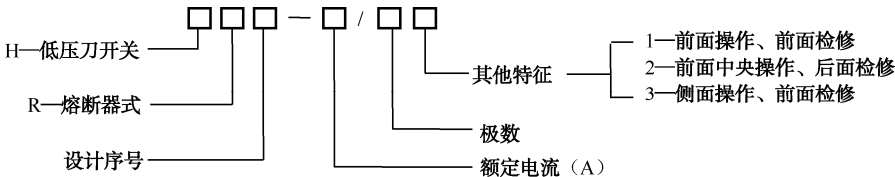


1—RT0 型熔断器的熔体; 2—弹性触座; 3—连杆; 4—操作手柄; 5—配电屏面

图 2-35 刀熔开关的结构示意图

目前,越来越多采用的是一种新型刀熔开关 HR5 型系列。它与 HR3 型的主要区别是用于 NT 型低压高分断熔断器取代了 RT0 型熔断器作短路保护用,在各项电气技术指标上更加完好,同时也具有结构紧凑、使用维护方便、操作安全可靠等优点,而且它还能进行单相熔断的监测,从而能有效防止因断路器熔断所造成的缺相运行故障。

低压刀熔开关全型号的表示含义如下:



### 3. 低压负荷开关

低压负荷开关（文字符号为 QL）是由带灭弧装置的刀开关与熔断器串联而成的，外形呈封闭式铁壳或开启式胶盖，又称开关熔断器组。

低压负荷开关具有带灭弧罩的刀开关和熔断器的双重功能，既可带负荷操作，也能进行短路保护，但一般不能频繁操作，短路熔断后重新更换熔体才能恢复正常供电。

低压负荷开关根据结构不同，有封闭式负荷开关（HH 系列）和开启式负荷开关（HK 系列）。其中，封闭式负荷开关是将刀开关和熔断器串联组合安装在金属盒内，因而又称铁壳开关，一般用于粉尘多、不需要频繁操作的场合，作为电源开关和小型电动机直接启动的开关，兼作短路保护用。而开启式负荷开关是采用瓷质胶盖，可用于照明和电热电路中做不频繁通断电路和电路保护用。图 2-36 为低压负荷开关实物图。

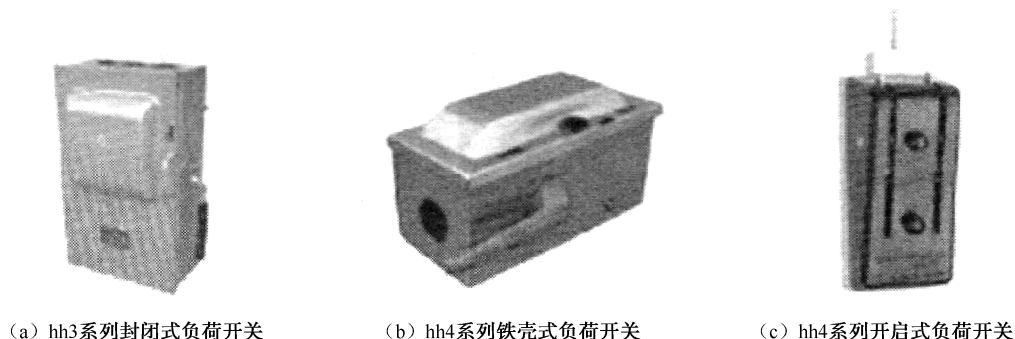


图 2-36 低压负荷开关实物图

#### 4. 低压断路器

低压断路器（文字符号为 QF）又称低压自动开关、自动空气开关或空气开关等，它既能带负荷接通和切断电路，又能在短路、过负荷和低电压（失压）时自动跳闸，保护电力线路和电气设备免受破坏。它被广泛用于发电厂和变电所，以及配电线路的交、直流低压电气装置中，适用于正常情况下不频繁操作的电路。其部分低压断路器部分产品实物图如图 2-37 所示。

低压断路器的工作原理结构示意图如图 2-38 所示。主触点用于通断主电路，它由带弹簧的跳钩控制通断动作，而跳钩由锁扣锁住或释放。当线路出现短路故障时，其过电流脱扣器动作，将锁扣顶开，从而释放跳钩使主触点断开。同理，如果线路出现过负荷或失电压情况，通过热脱扣器或失压脱扣器的动作，也使主触点断开。



图 2-37 低压断路器部分产品实物图

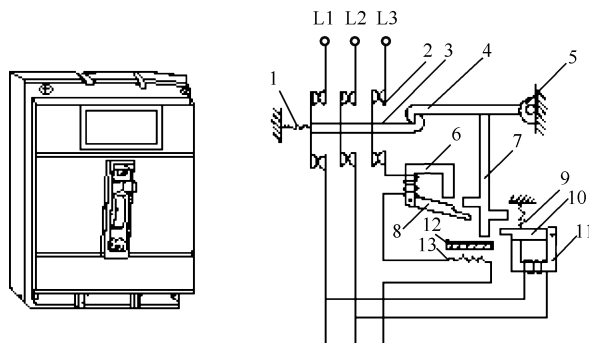
##### 1) 低压断路器种类

按用途分，有配电用、电动机用、照明用和漏电保护用等；按灭弧介质分，有空气断路器和真空断路器；按极数分，有单极、双极、三极和四极断路器。小型断路器可经拼装由几个单极的组合成多极的。

配电用断路器按结构分，有塑料外壳式（装置式）和框架式（万能式）。

(1) DZ 系列（塑料外壳式）低压断路器。DZ 系列（塑料外壳式）低压断路器为封闭式

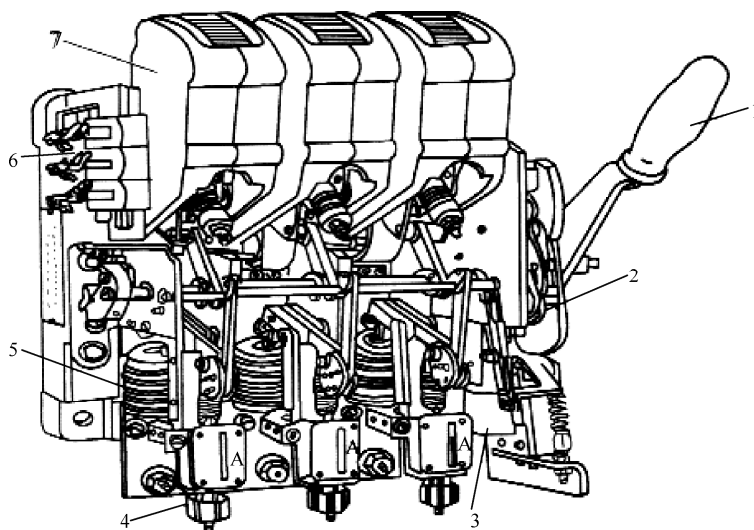
结构，常称为塑料外壳式自动开关。目前，使用较多的 DZ 系列低压断路器有 DZ10、DZ15，推广应用的有 DZ20、DZX10 及 C45N、DZ40 等。



1、9—弹簧；2—触点；3—锁键；4—搭钩；5—轴；6—过电流脱扣器；7—杠杆；  
8、10—衔铁；11—欠电压脱扣器；12—双金属片；13—热元件

图 2-38 低压断路器的工作原理结构示意图

(2) DW 系列（框架式）低压断路器。图 2-39 为 DW 系列低压断路器外形图。DW 系列（框架式）低压断路器为敞开式结构，其保护方案和操作方式都较多，因而又称万能式自动开关。其灭弧性能较强，电流容量较大，但断开时间较长，在一个周期（0.02s）以上。目前，使用较多的 DW 系列低压断路器有 DW10、DW15，推广应用的低压断路器有 DW15X、DW16、DW17（ME 开关）、DW914（AH）等。



1—操作手柄；2—自由脱扣机构；3—失压脱扣器；4—脱扣器电流调节螺母；  
5—过电流脱扣器；6—辅助触点（联锁触点）；7—灭弧罩

图 2-39 DW 型万能式低压断路器外形

配电用断路器按保护性能分，有非选择型、选择型和智能型。非选择型断路器一般为瞬时动作，只作短路保护用；也有长延时动作，只作过负荷保护用。选择型断路器有两段保护和三段保护两种动作特性组合。两段保护有瞬时和长延时的两段组合或长延时和短延时的两段组

合两种。三段保护有瞬时、短延时和长延时三段组合。智能型断路器的脱扣器动作由微机控制，保护功能更多，选择性更好。

自动开关带有多种脱扣器，能起到过电流、过载、失压、保护等作用。按断路器中安装的脱扣器种类分为如下 5 种：

(1) 分励脱扣器。它用于远距离跳闸（远距离合闸可采用电磁铁或电动储能合闸）。

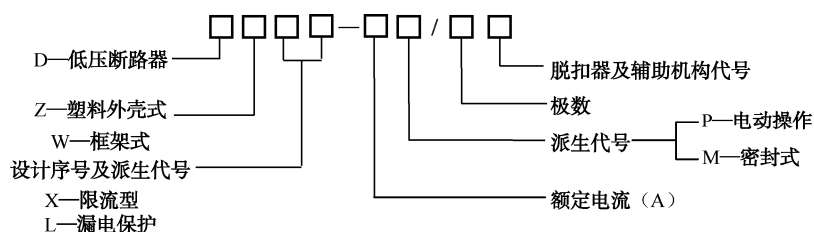
(2) 欠电压或失电压脱扣器。它用于欠电压或失电压（零压）保护，当电源电压低于定值时自动断开断路器。

(3) 热脱扣器。它用于线路或设备长时间过负荷保护，当线路电流出现较长时间过载时，金属片受热变形，使断路器跳闸。

(4) 过电流脱扣器。它用于短路、过负荷保护，当电流大于动作电流时自动断开断路器。分瞬时短路脱扣器和过电流脱扣器（又分为长延时和短延时两种）。

(5) 复式脱扣器。它既有过电流脱扣器又有热脱扣器的功能。

#### 1) 低压断路器全型号和含义



#### 2) 低压断路器的检修

低压断路器常见故障及原因如下：

(1) 手动操作断路器时触点不能闭合。主要原因：欠压脱扣器无电压和线圈损坏；机构不能复位再扣；储能弹簧变形，闭合力减少；反作用弹簧拉力过大。

(2) 启动电动机时断路器立即分断。原因：过电流脱扣器的整定电流太小，可调整脱扣器的瞬时整定弹簧。若为空气阻尼的脱扣器，则可能是闭门失灵或橡皮膜破裂。

(3) 断路器闭合后一段时间又自行分断。主要原因：过电流长延时整定值不对或热元件等精确度发生变化。

(4) 断路器温度过高。主要原因：触点压力过分降低；触点表面过分磨损或接触不良；导电零件的连接螺钉松动。

(5) 分励脱扣器不能使断路器分断电路。主要原因：线圈损坏；电源电压低；电路螺丝松动；再扣接触面过大。

(6) 欠压脱扣器不能使断路器分断电路。主要原因：反力弹簧作用力变小；储能释放弹簧作用力变小；机构被卡住。

(7) 欠压脱扣器有噪声。主要原因：反力弹簧作用力太大；铁芯工作面上有油污；短路环断裂。

#### 5. 低压熔断器

低压熔断器主要实现低压配电系统的短路保护和过负荷保护。它的主要缺点是熔体熔断后必须更换，会引起短时停电，保护特性和可靠性较差，在一般情况下，必须与其他电器配合使用。

低压熔断器的类型很多，按结构形式分为 RM 系列无填料密闭管式熔断器、RT 系列有填料密

闭管式熔断器、RC 系列瓷插式熔断器、DL 系列螺旋管式熔断器、NT 系列高分断能力熔断器等。

RC1 型瓷插式熔断器的结构简单、价格便宜、更换熔体方便,广泛用于 500V 以下的电路中,作不重要负荷的电力线路、照明设备和小容量的电动机的短路保护用。例如,居民区、农用负荷等要求不高的供配电线路末端的负荷。图 2-40 所示为 RC1 系列瓷插式熔断器。

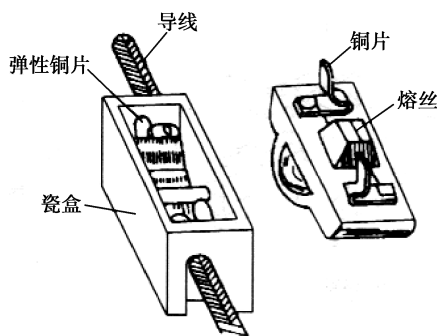
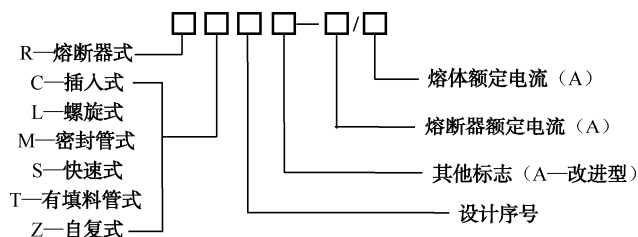


图 2-40 RC1 系列瓷插式熔断器

国产低压熔断器的全型号的表示和含义如下:



RL1 螺旋式熔断器的体积小,质量轻,安装面积小,价格低,更换方便,运行安全可靠,而且因熔管内充有石英砂,灭弧能力较强,属限流式熔断器,广泛用于 500V 以下的低动力干线和支线上,用于保护线路、照明设备和小容量电动机。图 2-41 所示为 RL 系列螺旋式熔断器。

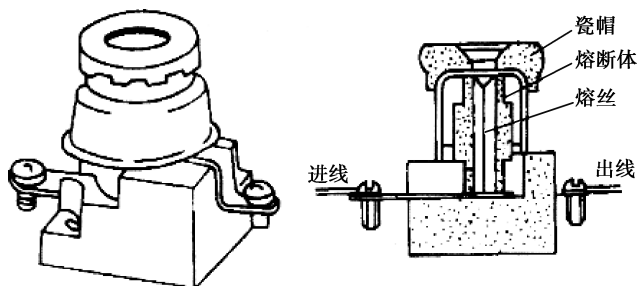


图 2-41 RL 系列螺旋式熔断器

RM 型熔断器的熔体用锌片冲制成变截面形状。图 2-42 所示为 RM10 系列低压熔断器。它由纤维熔管、变截面锌片和触刀、管帽、管夹等组成。当短路电流通过时,熔片窄部由于截面小电阻大而首先熔断,并将产生的电弧分成几段而易于熄灭;在过负荷电流通过时,由于电流加热时间较长,而窄部的条件好,这时往往在宽窄之间的斜面熔断。由此,可根据熔片熔断的部位来判断过电流的性质。RM 系列的熔断器不能在短路到达冲击值前灭弧,因此,是非限流式熔断器。广泛用于发电厂和变电所中,作为电动机的保护和断路器合闸控制回路的保护。



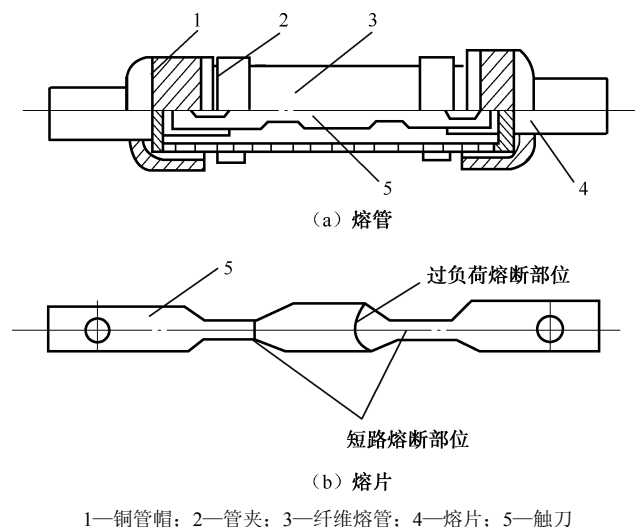


图 2-42 RM10 系列低压熔断器

RT0 型有填料封闭管式熔断器如图 2-43 所示，主要由瓷熔管、铜熔体（栅状）和底座三部分组成。熔管内装有石英砂。熔体由多条冲有网孔和变截面的紫铜片并联组成，中部焊有“锡桥”，指示器熔体为康铜丝，与工作熔体并联。熔管上盖板有明显的红色熔断指示器。这种熔断器具有较强的灭弧能力，因而属于限流式熔断器。熔体熔断后，其熔断指示器（红色）弹出，以方便工作人员识别故障线路和进行处理。熔断后的熔体不能再用，需重新更换，更换时采用绝缘操作手柄进行操作。

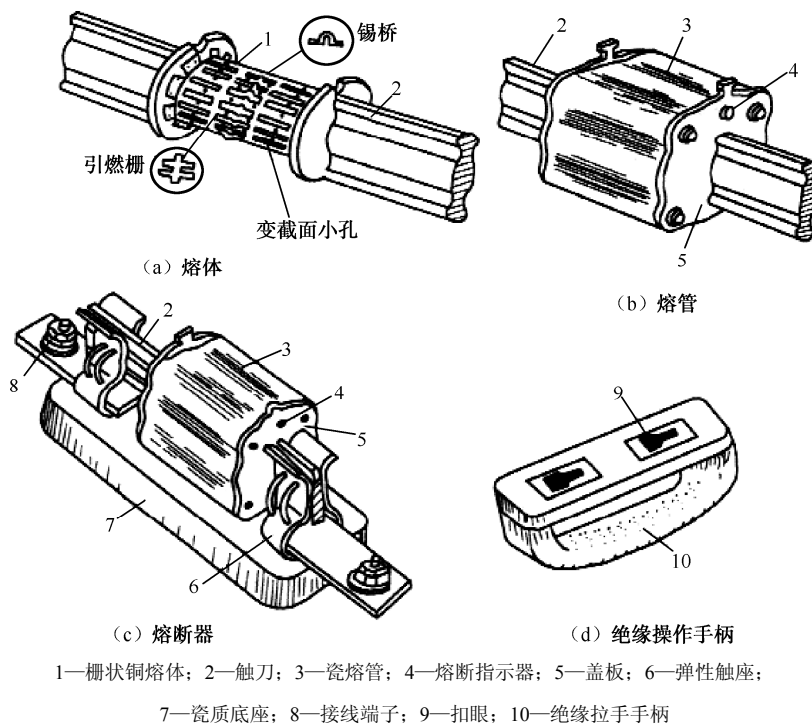


图 2-43 RT0 型低压熔断器

RT0 型熔断器具有很强的分断能力和良好的安秒特性,在低压电网保护中与其他保护电器配合,能组成具有一定选择性的保护,广泛用于短路电流较大的低压网络和配电装置中,作输电线路和电气设备的短路保护,特别适用于重要的供电线路(如电力变压器的低压侧主回路及靠近变压器场所出线端的供电线路)。

NT 系列熔断器是引进技术生产的一种高分断能力熔断器,现广泛应用于低压开关柜中,适用于 660V 及以下电力网络及配电装置作过载和保护用。该系列熔断器由熔管、熔体和底座组成,外形结构与 RT0 型相似。熔管为高强度陶瓷管,内装优质石英砂、熔体采用优质材料制成。它的主要特点是体积小,质量轻,功耗小,分断能力高,限流特性好。

gF、aM 系列圆柱形管状有填料熔断器也属于引进技术生产的熔断器,具有体积小,密封好,分断能力高,指示灵敏,动作可靠,安装方便等优点,适用于低压配电系统。其中, gF 系列用于线路的短路和过负荷保护, aM 系列用于电动机的短路保护。

#### 实操训练 4 低压电器认识实训

有供实训观察和拆装的各种常用低压电器(包括各种型号的低压熔断器、刀开关、空气开关、负荷开关、低压断路器)和低压配电屏(固定式或抽屉式)。

低压断路器(即自动开关、空气自动开关)是工厂低压供配电系统中主要控制设备,它担负着接通和断开正常低压电路及短路或过负荷故障条件下迅速自动切断故障电路的任务,所以低压断路器性能的好坏,脱扣器的选择、整定是否合适,将直接影响低压供电系统的安全性和可靠性。

低压断路器的类型很多,工厂供配电系统常用的有两种,即框架式(DW 型)和塑壳(DZ 型)式,即使同一种类型也有许多不同规格,限于实验室条件,以下主要对 DZ10-100 型低压断路器内部结构和脱扣器的整定进行分析及通电实训。

##### 1. 实训目的

- (1) 了解塑壳式 DZ10-100 型低压断路器的主要结构及各组成部分。
- (2) 了解低压断路器各种脱扣器的动作原理及其整定实训方法。

##### 2. 实训设备

实训设备见表 2-5。

表 2-5 低压电器认识实训设备

设备名称	数量	设备名称	数量
DZ10-100/311	1 台	电流互感器	1 只
DZ10-100/320	1 台	交流电流表	1 块
三相调压器	1 台	连接导线和工具	若干
升流器(单相)	1 台		

##### 3. 实训内容及方法

###### 1) 低压断路器内部结构剖析

###### (1) 剖析要点:

- ① 低压断路器的导电部分,包括动、静触点。
- ② 低压断路器的灭弧装置。

③ 各种脱扣器的结构、工作原理、整定部位和整定方法。

④ 低压断路器的操作机构及其操作要求。

(2) 方法：卸下外盖，进行仔细观察。

## 2) 脱扣器实训

DZ10-100G 型低压断路器有三种类型脱扣器：电磁式（过电流）脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器。

### ♥ 电磁脱扣器（过流）的实训内容和方法

(1) 实训内容：

① 脱扣原理（根据断路器结构和脱扣器动作过程自行分析）。

② 脱扣电流的测定。

③ 整定脱扣电流的方法（根据断路器结构和脱扣器动作确定整定部位，分析判断整定方法并进行整定）。

(2) 脱扣电流的测定方法：

① 实训接线如图 2-44 所示。

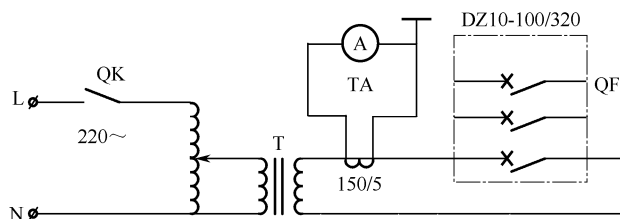


图 2-44 低压断路器脱扣器电流测试实训接线图

② 接线注意事项。

升流器副边（二次侧）电流较大，要采用 YC-35 电焊把线，并保证接线牢固。

电流互感器的变比要采用 150 : 5。

实训前应将调压器的输出调至零位。

③ 实训步骤

按图 2-44 所示方式接线，经老师检查无误后进行实训。

合上被测电压断路器 QF。

合上电源开关 QK，接通调压器电源。

操作调压器缓慢升高输出电压，则升流器输出电流上升，观察电流表读数，直到低压断路器跳闸（整定至 70A 左右），记下电流表读数。

将调压器输出降至 0。

重复以上实训步骤两次。

断开电源开关 QK。

计算出三次实验中测定电流的平均值。

④ 测量脱扣器电流注意事项：

因实训电流很大，升流器二次侧电流由 0 上升至脱扣电流的时间控制在 1min 左右。

记录实训数据时要注意电流表读数的换算。

## ♥ 分励脱扣器实训

① 实训电路如图 2-45 所示。

② 实训步骤。

按图 2-45 接线并检查无误后方可进行下一步。

合上断路器 QF。

合上电源开关 QK，则 QF 瞬间跳闸。

断开 QK。

③ 重复以上实训步骤一次。

## ♥ 热脱扣器实训

按 DZ10-100 型低压断路器技术条件，热脱扣器脱扣时间较长，暂不进行电气实验，但是可以进行模拟实验。方法：根据双金属片受热弯曲原理，人为弯曲断路器内该金属片，低压断路器自动跳闸。

步骤：合上 DZ10-100/311 低压断路器，用螺丝刀碰触某金属片，缓缓用力，使其弯曲，直至断路器跳闸，重复 2~3 次，观察脱扣动作过程，从而领会整定热脱扣器动作电流的方法。

## 4. 实训结果

(1) 分析电磁脱扣、热脱扣、分励脱扣动作原理。

(2) 观察并确定电磁脱扣、热脱扣的动作电流整定部位，自行整定，归纳整定方法。

(3) 进行电磁脱扣器动作电流的测量。

将实训数据记录到表 2-6 中。

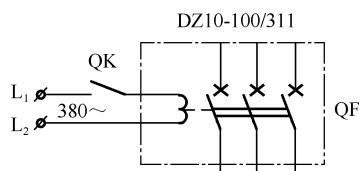


图 2-45 分励脱扣实训电路图

表 2-6 实训数据记录

低压断路器型号：		电流互感器变比：	
测量次数	1	2	3
电流表读数			
脱扣电流值			
平均值			

## 课外阅读 变配电所值班人员对电气设备的巡查

值班人员当值期间，应按规定的巡视路线、时间对全所的电气设备进行认真巡视检查。在巡视检查时，应遵循下列原则和规定。

(1) 遵守《电业安全工作规程》（发电厂和变电所电气部分）中高压设备巡视的有关规定。

(2) 为了防止巡视设备时漏巡视设备，每个变电所应绘制出设备巡视检查路线图，并报上级主管部门批准。运行人员应按规定的巡视路线进行巡查。

(3) 巡查时要集中精神，发现缺陷应分析原因，并采取适当措施限制事故蔓延，遇有严重威胁人身和设备安全情况时，应按上级主管部门制定的《变电所运行规程》、《倒闸操作规程》及《事故处理规程》进行处理。

(4) 对备用设备的运行维护要求等同于运行中的设备。

(5) 有下列情况时，必须增加检查次数：

① 雷雨、大风、浓雾、冰雪、高温等天气时；

- ② 出线的设备在高峰负荷时或过负荷时;
- ③ 设备产生一般缺陷又不能消除, 需要不断监视时;
- ④ 新投入或检修后试运行的设备。

(6) 在进行室内配电装置巡查时, 除按上述规定外, 还应遵守下列要求:

- ① 高压设备发生接地时, 不得靠近故障点 4m 以内, 进入上述范围必须穿绝缘靴; 接触设备外壳时, 必须戴绝缘手套;
- ② 进出高压室, 必须随手将门关上;
- ③ 高压室钥匙至少应有三把, 其中一把换班时移交。

(7) 室外配电装置是将所有电器设备和母线都装设在露天的基础、支架或构架上的。

① 母线及构架: 室外配电装置的母线有硬母线和软母线两种。软母线多为钢芯铝绞线, 三相呈水平布置, 用悬式绝缘子挂在母线构架上。采用软母线时, 相间及对地距离要适当增加。硬母线常用的有矩形和管形母线, 固定于支柱绝缘子上。采用硬母线可节省占地面积。

室外配电装置的构架, 可由钢筋混凝土制成。目前, 我国在各类配电装置中推广应用一种以钢筋混凝土环形杆和钢梁组成的构架。

② 电力变压器: 采用落地布置, 安装在双梁形钢筋混凝土基础上, 轨道中心距等于变压器的滚轮中心距。当变压器油重超过  $1 \times 10^3 \text{kg}$  以上时, 按照防火要求, 在设备下面应设置储油池或周围设挡油墙, 其尺寸应比设备的外廊大 1m, 并应在池内铺设厚度不小于 0.25m 的卵石层。主变压器与建筑物的距离, 不应小于 1.25m。

③ 断路器: 断路器安装在高 0.5~1m 的混凝土基础上, 其周围应设置围栏。断路器的操动机构需装在相应的基础上。

④ 隔离开关和电流、电压互感器: 这几种设备均采用高位式布置, 高度要求与断路器相同。

⑤ 避雷器: 一般 110kV 以上的避雷器多采用落地式布置, 即安装在 0.4m 高的基础上, 四周加围栏。磁吹避雷器及 35kV 的阀型避雷器体型矮小, 稳定性好, 一般可采用高位布置。

⑥ 电缆沟: 其结构与屋内配套电气设备的装置相同。

⑦ 道路: 根据运输设备和消防及运行人员巡查电气设备的需要, 在配电装置的范围内铺有道路。电缆沟盖板可作为巡视小道。

(8) 对室外配电装置进行巡视时需注意以下事项。

- ① 遇有雷雨时, 如要外出进行检查, 必须穿绝缘靴, 并不得靠近避雷针和避雷器。
- ② 高压设备发生接地故障时, 不得靠近故障点 8m 以内, 进入上述范围必须穿绝缘靴; 接触设备外壳时, 应戴绝缘手套。

## 2.3.2 问题与思考

### 一、填空题

1. 在工厂变配电系统中, 把各电气设备按一定的方案连接起来, 担负输送、变换和分配电能任务的电路称为\_\_\_\_\_; 用来控制、指示、监测和保护主电路及其设备运行的电路称为\_\_\_\_\_。

2. 配电用低压断路器按结构分, 有\_\_\_\_\_式和\_\_\_\_\_式两种。一般具有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等几种脱扣器。

3. 低压刀开关文字符号为\_\_\_\_\_, 是一种最普通的一种低压电器, 适用于交流\_\_\_\_\_, 额定交流电压为\_\_\_\_\_, 直流电压为\_\_\_\_\_, 额定电流为\_\_\_\_\_及以下的配电系统中, 做不频繁手动接通和分断电路或用来隔离电源以保证安全检修之用。

4. 低压熔断器主要实现低压配电系统的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

5. 常见的低压配电屏有 GGD 型和 PGL 型。GGD 型低压配电屏适用于交流频率\_\_\_\_\_, 额定工作电压\_\_\_\_\_, 额定工作电流至\_\_\_\_\_的发电厂、变电站、工矿企业等配电系统。

6. PGL 型低压配电屏一般供发电厂、变电站、工矿企业的动力配电及照明供电设备使用, 适用于交流\_\_\_\_\_, 额定工作电压不超过\_\_\_\_\_, 额定工作电流\_\_\_\_\_及以下的低压配电系统中。

## 二、技能题

7. 组合式成套变电所对高压开关柜在电气和机械联锁上采取了哪“五防”措施?

## 项目3 电气主接线的运行分析

### 【教学目标】

通过学习熟悉变配电所几种典型主接线方案，掌握分析电气主接线的运行方式及其优缺点；熟悉各种电气一次设备在主接线中的作用和正常运行时的状态；学会编制电气一次系统的运行方案。了解、熟悉和掌握变配电所的电气主接线，进一步了解电路中各种设备的用途、性能及维护检查项目和运行操作的步骤等。

### 【项目描述】

电气主接线是工厂供配电系统的重要组成部分，电气主接线表明供配电系统中电力变压器、各电压等级的线路、无功补偿设备以最优化的接线方式与电力系统的连接，同时也表明各种电气设备之间的连接方式。电气主接线的形式，影响着企业内部配电装置的布置、供电的可靠性、运行的灵活性和二次接线、继电保护等问题，对变配电所，以及电力系统的安全、可靠、优质和经济运行指标起着决定性作用。同时，电气主接线也是电气运行人员进行各种操作和事故处理的重要依据。

### 任务1 电气主接线的运行分析

#### 【任务描述】

为实现对用户的输电、受电、变电和配电功能，在工厂变配电所中，必须把各种高、低压电气设备按一定的接线方案连接起来，组成一个完整的供配电系统。

工厂电力网络的接线力求简单、可靠、操作维护方便。工厂电力网络包括厂内高压配电网络与车间低压配电网络，高压配电网络指从总降压变电所或配电所到各个车间变电所或高压设备之间的6~10kV高压配电网络；低压配电网络指从车间变电所到各低压用电设备的380/220V低压配电网络。

电气主接线是工厂供配电系统中直接参与电能的输送与分配、由母线、开关、配电线路、变压器等组成的接线。

#### 【知识链接】

#### 3.1.1 工厂变配电所主接线

##### 1. 对电气主接线的基本要求

工厂供配电系统是指接受发电厂电源输入的电能，并进行检测、计量、变压等，然后向工厂及其用电设备分配电能的系统。工厂供配电系统通常包括厂内变配电所、所有高低压供配电线路及用电设备。为实现对用户的输电、受电、变电和配电功能，在工厂变配电所中，必须把

各种高、低压电气设备按一定的接线方案连接起来，组成一个完整的供配电系统。工厂供配电系统中直接参与电能的输送与分配，由母线、开关、配电线路、变压器等组成的接线称为电气主接线。

#### 1) 可靠性要求

电气主接线的可靠性是接线方式和一次、二次设备可靠性的综合。在主接线设计时通常采用定性分析来比较各种接线的可靠性、一般比较以下几项：

- (1) 断路器停电检修时，对供电的影响程度；
- (2) 进线或出线回路故障，断路器拒动时，停电范围和停电时间；
- (3) 母线故障或母线检修时，停电范围和停电时间；
- (4) 母线联络断路器故障的停电范围和停电时间。

#### 2) 灵活性要求

主接线的灵活性主要体现在正常运行或故障情况下都能迅速改变接线方式，具体情况如下：

(1) 满足调度灵活性的要求，调度员根据系统正常运行的需要，能方便、灵活地切除或投入线路、变压器或无功补偿，使供配电系统处于最经济、最安全的运行状态。

(2) 满足输电线路、变压器、开关设备停电检修或设备更换方便灵活的要求。

(3) 满足接线过渡的灵活性。一般变电所都是分期建设的，从初期接线到最终接线的形成，中间要经过多次扩建。主接线设计时要考虑接线过渡过程中停电范围最小，停电时间最短，一次、二次设备接线的改动最少，设备的搬迁最少或不进行设备搬迁。

(4) 满足处理事故的灵活性。变电所内部或系统发生故障后，能迅速地隔离故障部分，保障电网的安全稳定。

#### 3) 经济性要求

经济性是在满足接线的可靠性、灵活性要求的前提下，尽可能地减少与接线方式有关的投资。

(1) 采用简单的接线方式，少用设备，节省设备上的投资。在投产初期回路数较少时，更有条件采用设备用量较少的简化接线。

(2) 在设备形式和额定参数的选择上，要结合工程情况恰到好处，避免以大代小，以高代低。

(3) 在选择接线方式时，要考虑到设备布置的占地面积大小，要力求减少占地，节省配电装置征地的费用。

#### 4) 具有发展和扩建的可能性




















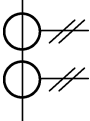


确定电气主接线时应留有发展余地，要考虑最终接线的实现，以及在场址施工等方面的可行性。

工厂供配电系统电气主接线的可靠性、灵活性和经济性是一个综合的概念，不能单独强调其中的某一种特性，也不能忽略其中的任一种特性。

常用的电气设备图形符号和文字符号见表 3-1。



表 3-1 常用的电气设备图形符号和文字符号

电气设备名称	文字符号	图形符号	电气设备名称	文字符号	图形符号
刀开关	QK		母线	W	
			导线、线路	W	
断路器(自动开关)	QF		三相导线		
隔离开关	QS		端子	X	
负荷开关	QL		电缆及其终端头		
熔断器	FU		交流发电机	G	
熔断器式开关	S		交流电动机	M	
阀式避雷器	F		单相变压器	T	
三相变压器	T		电压互感器	TV	
三相变压器	T		三绕组变压器	T	
电流互感器(具有一个二次绕组)	TA		三绕组电压互感器	TV	
电流互感器(具有两个铁芯和两个绕组)	TA		电抗器	L	
			电容器	C	

此外,对主接线的选择,还应考虑受电容量和受电地点短路容量的大小、用电负荷的重要程度、对电能的计量(如高压侧还是低压侧计量、动力及照明分别计费)及运行操作技术的需要等因素。若需要高压侧计量电能,则应配置高压侧电压互感器和电流互感器(或计量柜);受电容量大或用电负荷重要的,或对运行操作要求快速的,则应配置自动开关及相应的电气操作系统装置;受电容量虽小,但受电地点短路容量大的,则应考虑保护设备开、断短路电流的能力,如采用真空断路器等;一般容量小且不重要的用电负荷,可以配置跌落式熔断器控

制和保护。

## 2. 变配电所对电气主接线的选择原则及主要配置

### 1) 变电所电气主接线选择的主要原则

(1) 变电所主接线要与变电所在系统中的地位、作用相适应,即根据变电所在系统中的地位、作用,确定对主接线的可靠性、灵活性和经济性的要求。

(2) 变电所主接线的选择应考虑电网安全稳定运行的要求,还应满足电网出现故障应急处理的要求。

(3) 各种配电装置接线的选择,要考虑该配电装置所在的变电所的性质、电源等级、进出线回路数、采用的设备情况、供电负荷的重要性和本地区的运行习惯等因数。

(4) 近期接线与远景接线相结合,方便接线的过渡。

(5) 在确定变电所主接线时要进行经济技术比较。

### 2) 电气主接线中的主要设备配置

(1) 隔离开关的配置。原则上,各种接线方式的断路器两侧应配置隔离开关,作为断路器检修时的隔离电源设备;各种接线的送电线侧也应配置隔离开关,作为线路停电时隔离电源之用。此外,多角形接线中的进出线、接在母线上的避雷器和电压互感器也应配置隔离开关。

(2) 接地开关和接地器的配置。为保障电气设备、母线、线路停电检修时,人身和设备的安全,在主接线设计中要配置足够数量的接地开关或接地器。

(3) 避雷器、阻波器、耦合电容器的配置。为保持主接线设计的完整性,按常规要在主接线图上标明避雷器的配置。在 6~10kV 配电装置的母线和架空线进线处一般都要装设避雷器。各级电压配电装置的阻波器、耦合电容器均要根据系统通信的要求配置。

(4) 电流、电压互感器的配置。首先应使变电所内各主保护的保护区与后备保护的保护区之间互相覆盖,以消除保护死区。小接地电流系统一般在 A、C 两相配置电流互感器。220kV 变电所的 10kV 出线、无功补偿设备通常配置两组电流互感器。电压互感器的配置方案与电气主接线有关,采用双母线接线时通常要在每段母线上装设公用的三相电压互感器,为线路保护、变压器保护、母线差动保护、测量和同期系统提供母线电压信息。

## 3. 电气主接线有关的基本概念

高压配电所担负着从电力系统受电并向各车间变电所及某些高压用电设备配电的任务。如图 3-1 所示配电所主接线方案具有一定的代表性。下面依其电源进线、母线的出线的顺序,对该配电所的各部分作一简要介绍。

### 1) 电源进线

如图 3-1 所示配电所共有两路 10kV 电源进线,一路是架空线  $WL_1$ ,一路是电缆线  $WL_2$ 。最常见的进线方案是一路电源来自发电厂或电力系统变电站,作为正常工作电源,另一路取自邻近单位的高压联络线,作为备用电源,也可两路电源同时供电。

### 2) 母线

图 3-1 中的粗实线称为母线,是配电装置中用来汇集和分配电能的导体。因为该配电所只采用一路电源工作,一路电源备用,因此,母线分段开关通常是闭合的,高压并联电容器对整个配电所进行无功补偿。一旦工作电源发生故障或母线检修时,可切除该路接线后,投入备用电源即可恢复对整个高压配电所的供电。如果装设备用电源自动投切装置,则供电可靠性将进一步提高,但这时进线断路器的操作机构必须是电磁式或弹簧式的。

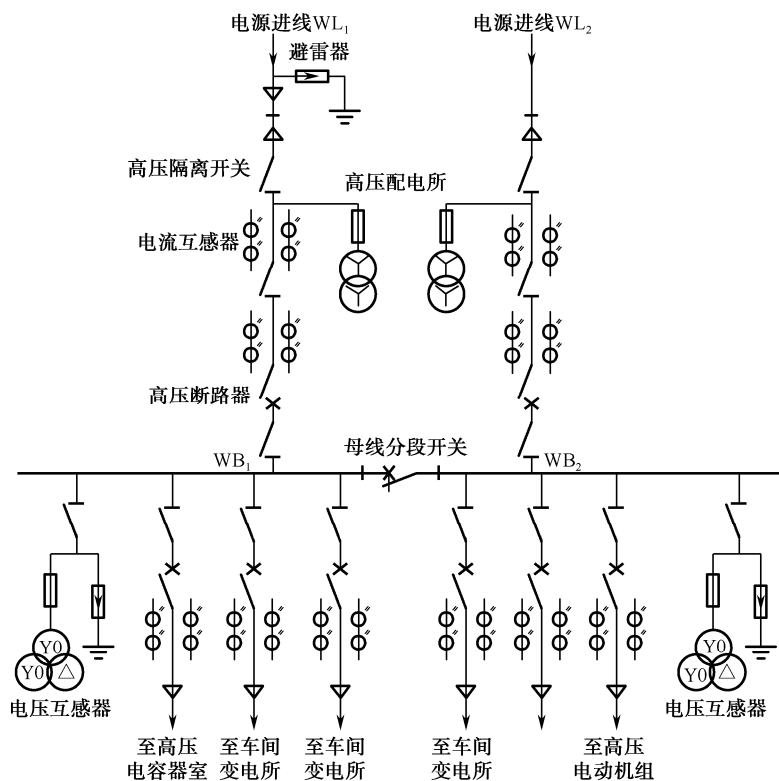


图 3-1 大型企业高压配电所电气主接线示意图

### 3) 检测、保护用设备

为了测量、监视、保护和控制主电路设备的工作情况，每段母线上都接有电压互感器，进线和出线上都接有电流互感器，且电流互感器均有二个二次绕组，其中一个接测量仪表，另一个接继电保护装置。为了防止雷电过电压侵入高压配电所时击毁其中的电气设备，各段母线上都装设了避雷器。避雷器和电压互感器同时装设在一个高压柜内，且共用一组高压隔离开关。

### 4) 高压配电的进出线

此高压配电所供有 6 路高压配电出线，分别由左段母线 WB<sub>1</sub> 经隔离开关—断路器供车间变电所和供无功补偿用的高压并联电容器组；由右段母线 WB<sub>2</sub> 经隔离开关—断路器供高压电动机用电和供车间变电所。由于高压配电线路都是由高压母线分配的，因此，其出线上母线侧需加装隔离开关，以保证断路器和出线的检修。

电气主接线图一般绘成单线图，只是在局部需要表明三相电路不对称连接时，才将局部绘制成三线图。在大、中型企业变配电所的控制室内，为了表明其主接线实际运行状况，通常设有电气主接线的模拟图（这里未绘制模拟图例）。

## 4. 35kV/10kV 电气主接线方式及特点

### 1) 单母线接线和单母线分段接线

(1) 单母线接线。单母线接线的特点只设一条汇流母线，电源线和负荷线均通过一台断路器接到母线上。单母线接线是母线制接线中最简单的一种接线。其优点是接线简单、清晰、采用设备少、造价低、操作方便、扩建任意。单母线接线的缺点是可靠性不高，当发生任一连接元件故障或断路器拒动及母线故障时，都将造成整个供电系统停电。

单母线接线可作为最终接线，也可以作为过渡接线。只要在布置上留有位置，单母线接线就可过渡到单母线分段接线、双母线接线、双母线分段接线。单母线接线方式如图 3-2 (a) 所示。

(2) 单母线分段接线。单母线分段是为了消除单母线接线的缺点而产生的一种接线。图 3-2 (b) 所示就是单母线分段方式。用断路器将母线分段，分段后母线和母线隔离开关可分段轮流检修。对重要用户，可从不同母线段引出双回路供电。当一段母线发生故障、任一连接元件故障和断路器拒动时，由继电保护动作断开分段断路器，将故障限制在故障母线范围内，非故障母线继续运行，整个配电装置不会全停电。

母线分段后，可提高供电的可靠性和灵活性。在正常运行时，分段断路器可以接通也可以断开运行。当分段断路器断开运行时，分段断路器除装有继电保护装置外，还应装有备用电源自动投入装置，分段断路器断开运行，有利于限制短路电流。

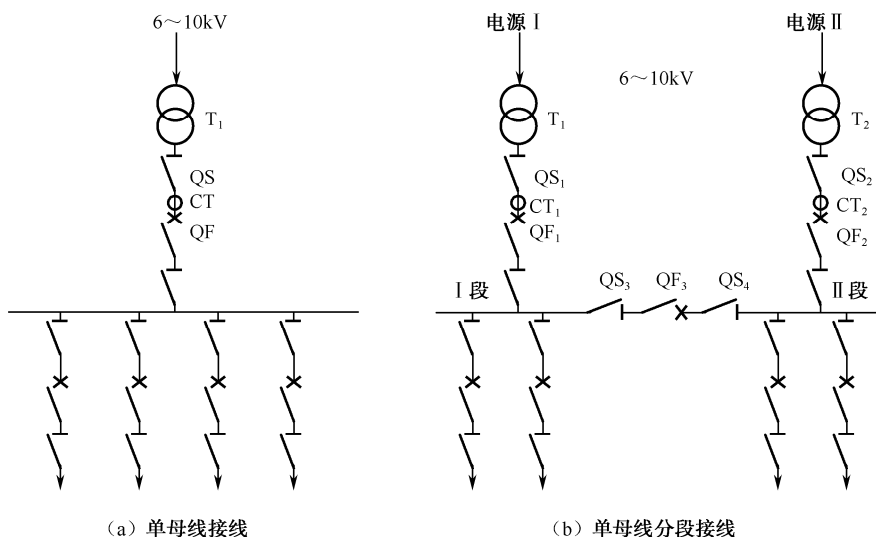


图 3-2 单母线接线与单母线分段接线示意图

单母线分段还可以采用双回路供电，即从不同段上各自引入一路电源进线，形成两个电源供电，以保证供电的可靠性。

单母线分段接线，虽然较单母线接线提高了供电可靠性和灵活性，但当电源容量较大和出线数目较多，尤其是单回路供电的用户较多时，当一段母线或母线隔离开关故障或检修时，必须断开接在该分段上的全部电源和出线，造成该段单回路供电用户停电。而且，任一出线断路器检修时，该回路都必须停止工作。因此，一般认为单母线分段接线应用在 6~10kV，出线在 6 回路及以上时，每段所接容量不宜超过 25MW。

## 2) 双母线接线

(1) 双母线接线。为了克服母线分段隔离开关检修时该段母线上所有设备都要停电的缺点，引入双母线接线。双母线接线就是将工作线、电源线和出线通过一台断路器和两组隔离开关连接到两组母线上，而且两组母线都是工作线，每一回路都可通过母线联络断路器并列运行。

与单母线接线相比，双母线接线的优点是供电可靠性大，可以轮流检修母线而不使供电中断。当一组母线故障时，只要将故障母线上的回路倒换到另一组母线，就可迅速恢复供电。另外，还具有调度、扩建、检修方便等优点。双母线接线的缺点：每一回路都增加了一组隔离开

关,使配电装置的构架及占地面积、投资费用都相应增加;同时由于配电装置的复杂,在改变运行方式倒闸操作时容易发生误操作,且不宜实现自动化;尤其当母线故障时,需短时切除较多的电源和线路,这在特别重要的大型发电厂和变电站是不允许的。图 3-3 所示为双母线接线示意图。其中两段母线互为备用。该接线适用于负载较重要的用户,运行可靠性和灵活性都较好。它适用的电压为 6~10kV 级。

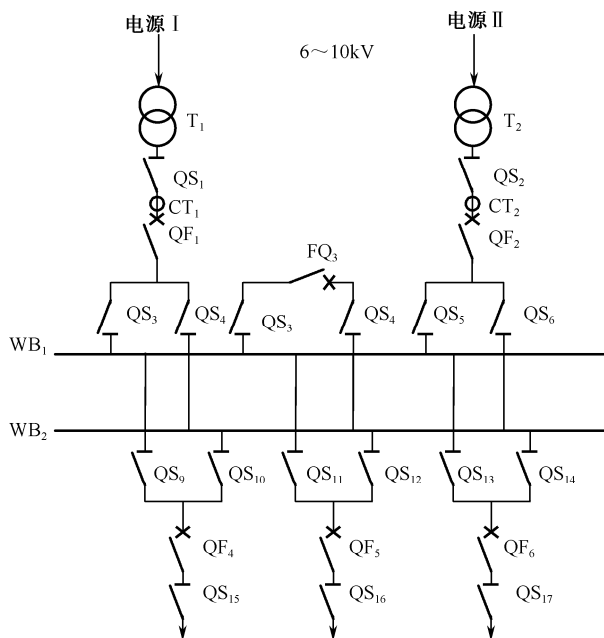


图 3-3 双母线接线示意图

(2) 双母线带旁路接线。双母线带旁路接线就是在双母线接线的基础上,增设旁路母线。其特点是具有双母线接线的优点,当线路侧或主变压器侧的断路器检修时,仍能继续向负荷供电,但旁路的倒换操作比较复杂,增加了误操作的机会,也使保护及自动化系统复杂化,投资费用较大。

加旁路母线虽然解决了断路器和保护装置检修不停电的问题,但旁路母线也带来了投资费用较大,占用设备间隔较多等诸多不利因素。

近年来,随着供配电技术的飞速发展,系统可靠性进一步提高,新技术、新设备大量投入,继电保护装置实现微机自动化,这些使得设备维护工作量大幅度减小,母线连续不检修运行的时间不断增长。目前 220kV 及以下新设计的变电站,一般都按无人值守方式设计。因此,旁路母线的作用已经逐渐减弱,作为电气主接线的一个重要方案,带旁路母线的接线已经完成了它的历史作用。

### 3) 桥式接线

桥式接线有内桥和外桥接线两种,如图 3-4 (a) 和 (b) 所示。

当线路只有两台变压器和两路输电线路时可采用桥式接线。桥式接线所需的断路器数目较多。

内桥接线适用于电压为 35kV 及 35kV 以上的电源线路较长和变压器不需要经常操作的配电系统中,可供一、二级负荷使用。

外桥式接线适用于电压为 35kV 及 35kV 以上的电源线路较短和变压器需要经常操作的配电系统中。可供一、二级负荷使用。

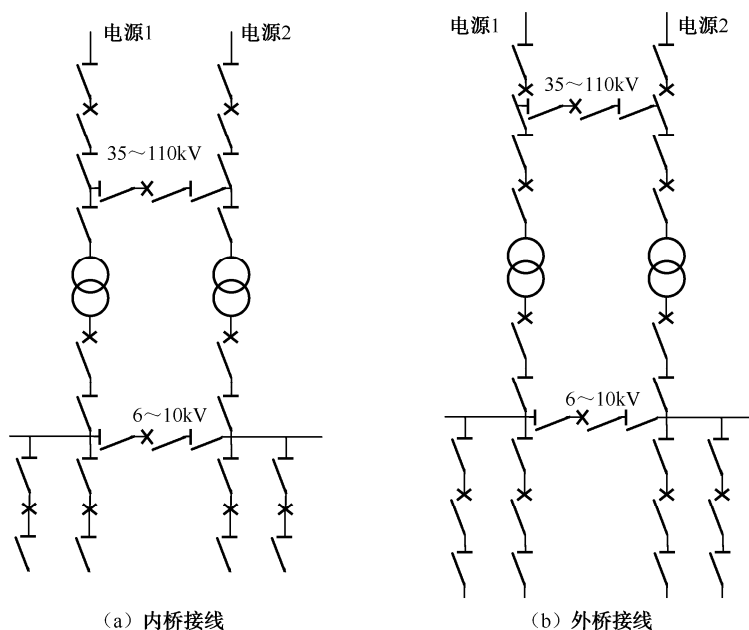


图 3-4 桥式接线

### 5. 车间变电所的电气主接线

中型工厂的车间变电所和小型工厂变电所及新型组合式变电所，是将 6~10kV 的电压降为 380/220V 的电压，直接供给用电设备的终端变电所。通常变压器的容量一般不超过 1000kV·A，其电气主接线方案比较简单。

常见的车间变电所主接线方案：

只装一台主变压器的小型变电所，其高压侧一般采用无母线的接线，根据其高压侧采用的开关电器不同，有以下几种比较典型的电气主接线方案。

(1) 变压器容量在 630kV·A 及以下的户外变电所。

对于户外变电所、箱式变电站或杆上变压器，高压侧可以使用户外高压跌落式熔断器，跌落式熔断器可以接通和断开 630kV·A 及以下的变压器空载电流，如图 3-5 所示。这种主接线受跌落式熔断器切断空载变压器容量的限制，一般只适用于 630kV·A 以下容量的变电所中。

在检修变压器时，拉开跌落式熔断器可以起隔离开关作用；在变压器发生故障时，又可作为保护元件自动断开变压器。其低压侧必须装设带负荷操作的低压熔断器。

这种电气主接线方案相当简单经济，但供电可靠性不高，当主变压器或高压侧停电检修或发生故障时，整个变电所停电。如果稍有疏忽，还会发生带负荷拉刀闸的严重事故。所以，这种电气主接线方案只适用于小容量的三类负荷的变电所。

(2) 变压器容量在 320kV·A 及以下的户内车间变电所。

对户内结构的变电所，高压侧采用隔离开关和户内式高压熔断器或跌落式熔断器控制，如图 3-6 或图 3-7 (a) 所示。隔离开关用在检修变压器时切断变压器与高压电源的联系。但隔离开关仅能切断 320kV·A 及以下变压器的空载电流，因此，停电时要先切除变压器低压侧的负荷，

然后才可拉开隔离开关。高压熔断器能在变压器故障时熔断而断开电源。为了加强变压器低压侧的保护,变压器低压侧出口处总开关尽量采用低压断路器。这种电气主接线仍然存在着排除电路故障时恢复供电时间较长的缺点,供电可靠性也不高,一般也只适用于三类负荷的变电所。

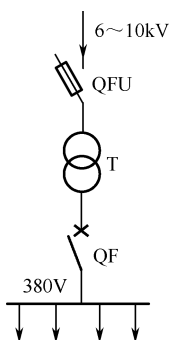


图 3-5 630 kV · A 变电所接线示意图

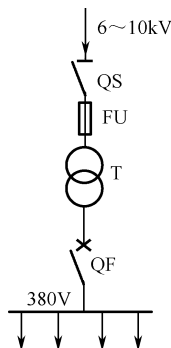


图 3-6 320 kV · A 变电所接线示意图

### (3) 变压器容量在 560~1000kV · A 的变电所。

变压器高压侧选用负荷开关和高压熔断器时,负荷开关在正常运行时操作变压器、熔断器可在短路时保护变压器。当熔断器不能满足断电保护条件时,高压侧应选用高压断路器。这种接线方式由于负荷和熔断器能带负荷操作,从而使得变电所的停、送电操作简便灵活得多,其接线方式如图 3-7 (b) 所示。也只适用于不重要的三级负荷。

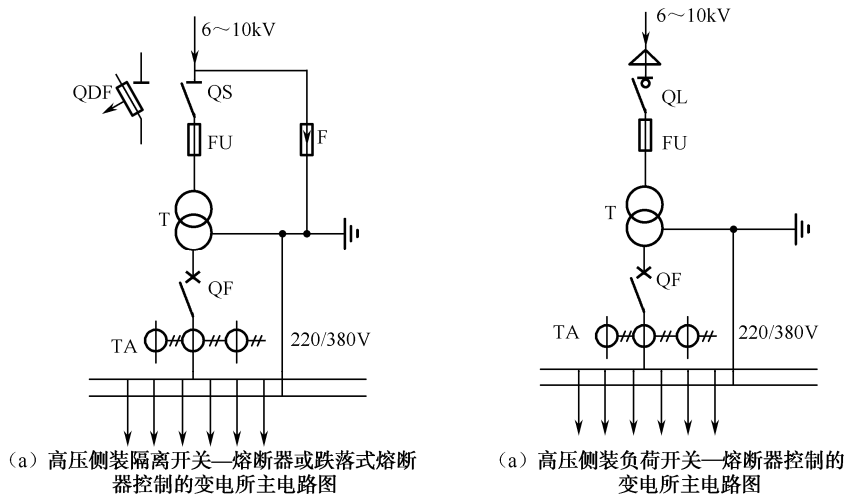


图 3-7 560~1000kV · A 的电气主接线方案

### (4) 变压器容量在 1000kV · A 以下的变电所。

变压器高压侧采用隔离开关—高压断路器控制的变电所。这种接线由于采用了断路器,因此,变电所的停电、送电操作灵活方便。但供电可靠性仍不高,一般也只适用于三类负荷。如果变压器低压侧有与其他电源的联络线时,可用于二类负荷,如图 3-8 所示。

(5) 两路进线、两台主变压器、高压侧无母线、低压侧单母线分段的变电所。这种主接线的供电可靠性较高,可用于一、二级负荷,如图 3-9 所示。

(6) 一路进线、高压侧单母线、两台主变压器、低压侧单母线分段的变电所,如图 3-10 所

示。这种接线可靠性也较高,可供二、三级负荷,如果有低压或高压联络线时可供一、二级负荷。

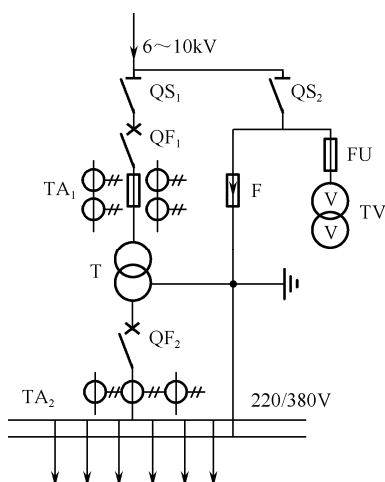


图 3-8 高压侧装隔离开关—断路器控制的变电所主电路图

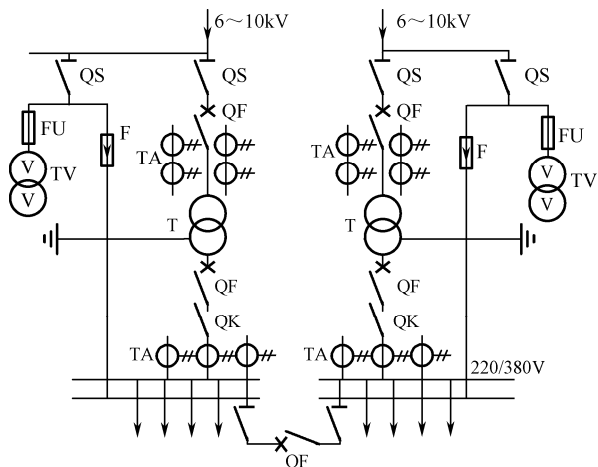


图 3-9 两路进线、两台主变压器、高压侧无母线低压侧单母线分段的变电所主电路图

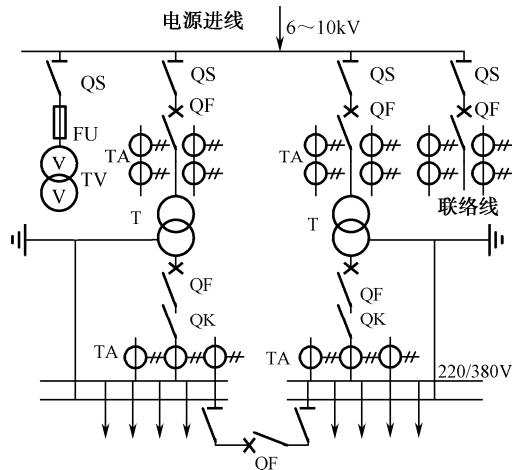


图 3-10 一路进线、两台主变压器、高压侧单母线、低压侧单母线分段的变电所主电路图



(7) 两路进线、高压侧单母线分段、两台主变压器、低压侧单母线分段的变电所如图 3-11 所示, 这种接线可靠性高, 可供一、二级负荷。

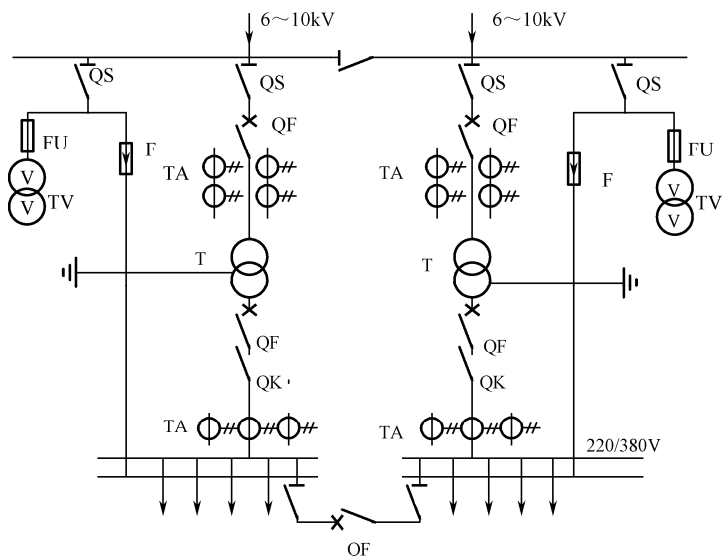


图 3-11 两路进线、两台主变压器、高压侧和低压侧均为单母线分段的变电所主电路图

## 2) 配电装置式主接线图

以原理式主接线图 3-12 为例, 经过转换, 可得到图 3-13 所示的配电装置式主接线图。

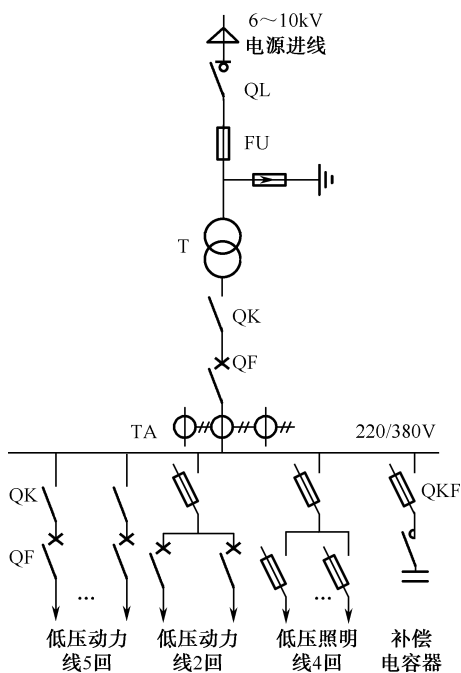


图 3-12 原理式主接线图

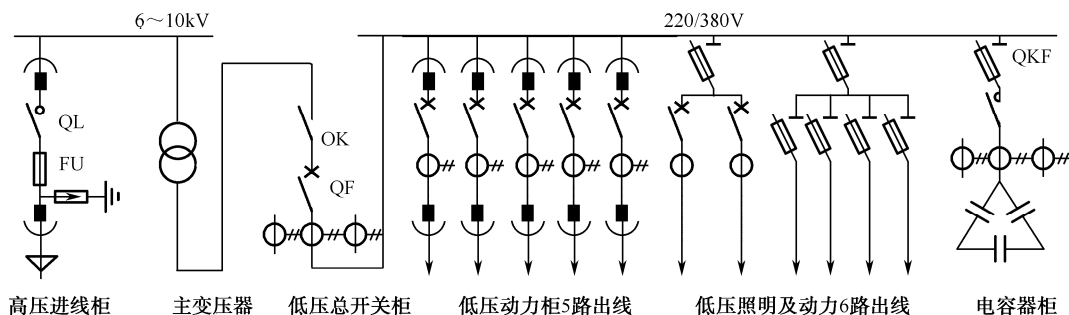


图 3-13 配电装置式主接线图

### 3.1.2 变配电所电气主接线的读图

#### 1. 看供配电系统电气图的基本步骤

##### 1) 看样图的说明

包括首页的目录、技术说明、设备材料明细表和设计、施工说明书。由此对工程项目设计有一个大致的了解，这有助于抓住识图的重点内容。然后看有关的电气图。看图的一般步骤：从标题栏、技术说明到图形、元件明细表，从整体到局部，从电源到负载，从主电路到副电路（二次回路等）。

##### 2) 看电气原理图

在看电气原理图的时候，先要分清主电路和副电路，交流电路和直流电路，再按照先主电路后副电路的顺序读图。

看主电路时，一般从上到下即由电源经开关设备及导线负载方向看；看副电路时，则是电源开始依次看各个电路，分析各副电路对主电路的控制、保护、测量、指示功能。

##### 3) 看安装接线电路图

同样，在看安装电路图时，总的原则：先看主电路，再看辅助电路。在看主电路时是从电源引入端开始，经过开关设备、线路到用电设备；在看辅助电路时，也是从电源出发，按照元件连接顺序依次对回路进行分析。

安装接线电路图是由接线原理图绘制出来的，因此，看安装接线电路图时，要结合接线原理对照起来阅读。此外，对回路标号、端子板上内外电路连接的分析，对识图也是有一定帮助的。

##### 4) 看展开接线图

看展开接线图时应该结合电气原理图进行阅读，一般先从展开回路名称，然后从上到下，从左到右。要特别注意的是，在展开图中，同一种电气元件的各部件是按照功能分别画在不同回路中的（同一电气元件的各个部件均标注统一项目代号，器件项目代号通常是由文字符号和数字编号组成），因此，读图时要注意这种元件各个部件动作之间关系。

同样要指出的是，一些展开图中的回路在分析其功能时往往不一定是按照从左到右，从上到下的顺序动作的，也可能是交叉的。

##### 5) 看平面、剖面布置图

在看电气图时，要先了解土建、管道等相关图样，然后看电气设备位置，由投影关系详细分析设备位置具体位置尺寸，并搞清楚各电气设备之间的相互连接关系，线路引出，引入走向等。

## 2. 变电所电气主接线的识图步骤

电气主接线是变电所的主要图纸，要看懂它一般可按以下步骤进行。

- (1) 了解变电所的基本情况：变电所在系统中的地位和作用，变电所的类型。
- (2) 了解变压器的主要技术参数：额定容量、额定电流、额定电压、额定频率、连接组别。
- (3) 明确各个电压等级的主接线基本形式：先看高压侧（电源侧）的基本形式——有无母线，是单母线还是双母线，母线是否分段；再看低压侧的接线。
- (4) 检查开关设备的配置情况：从控制、保护、隔离的作用出发，检查各路进线和出线是否配置了开关设备，配置是否合理，不配置能否保证系统的运行和检修。
- (5) 检查互感器的配置情况：从保护和测量的要求出发，检查是否在应该装互感器的地方都安装了互感器；配置的电流互感器个数和安装相别是否合理；配置的电流互感器的铁芯数（即副绕组数）是否满足需要。
- (6) 检查避雷器的配置情况：有些主接线图并不绘出避雷器的配置，则不必检查。当电气主接线图绘有避雷器时，则应检查是否配置齐全。
- (7) 综合评价：按主接线进行分析，指出优缺点，得出综合评价。

### 3.1.3 工厂变配电所的布置与结构

#### 1. 工厂变配电所总体布置要求

工厂变配电所的结构有户内式、户外式和组合式等形式。

根据 GB50053—1994，工厂变配电所总体布置应遵循下列原则：

- (1) 便于运行维护和检修。如有人值班的变配电所应设单独的值班室，且值班室应和高低压配电室相邻，有门直通；变压器室应靠近运输方便的马路侧。
- (2) 保证运行安全。如值班室内不应有高压设备，且值班室的门应朝外开，而高低压配电室和电容器室的门朝值班室开或朝外开；油量在 100kg 及以上的户内三相变压器应装设在单独的变压器室内；在双层布置的变电所内，变压器室要设在底层；所有带电部分离墙和离地的尺寸及各室的操作维护通道的宽度，需符合有关规程的要求。
- (3) 便于进、出线。如高压配电室一般位于高压接线侧；低压配电室应靠近变压器室，且便于低压架空出线；高压电容器室宜靠近高压配电室，低压电容器室宜靠近低压配电室。
- (4) 节约土地和建筑费用。在保证安全运行的前提下，尽量采用节约土地和建筑费用的布置方案。如值班室和低压配电室合并；条件许可时，优先选用露天或半露天变电所；当高压开关柜不多于 6 台时，可与低压配电屏设置在同一间房内；低压电容器数量不多时，可与低压配电装置设在一间房内。
- (5) 留有发展余地。如变压器室应考虑扩建时更换大的变压器的可能性；高低压配电室均需留有一定数量开关柜（屏）的备用位置。

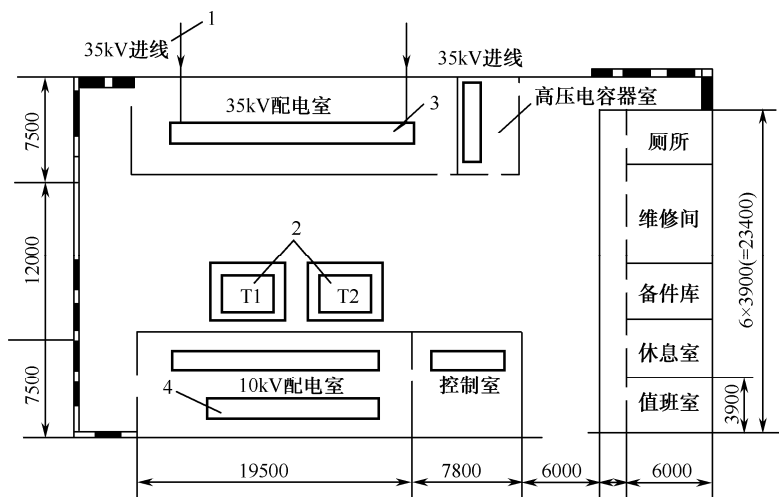
#### 2. 变配电所的总体布置方案

##### 1) 35/10kV 总降压变电所的布置方案

图 3-14 是 35/10kV 的总降压变电所的布置方案单层布置的典型方案示意图；图 3-15 为其双层布置方案示意图。

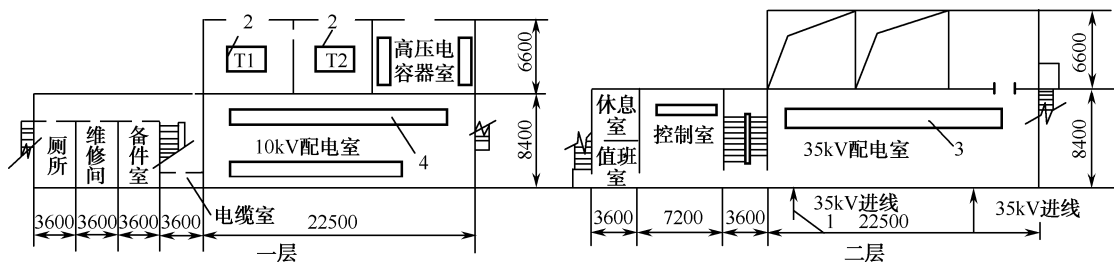
##### 2) 10kV 高压配电所和附设车间变电所的布置方案

图 3-16 所示是一个 10kV 高压配电所和附设车间变电所的布置方案示意图。



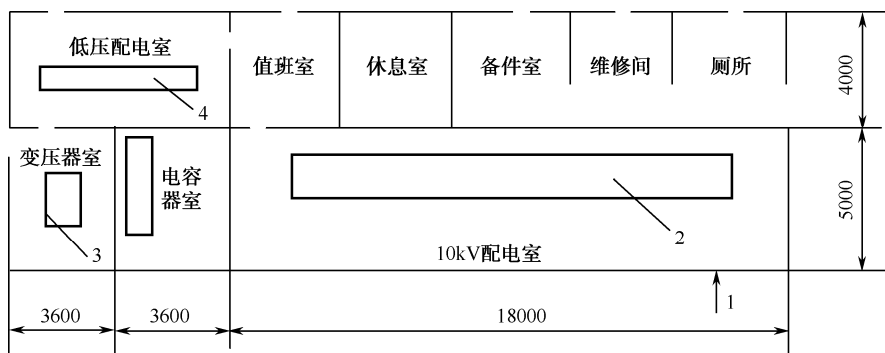
1—35kV 架空进线；2—主变压器（4000kV·A）；3—35kV 高压开关柜；4—10kV 高压开关柜

图 3-14 35/10kV 总降压变电所单层布置方案示意图



1—35kV 架空进线；2—主变压器（6300kV·A）；3—35kV 高压开关柜；4—10kV 高压开关柜

图 3-15 35/10kV 总降压变电所双层布置方案示意图



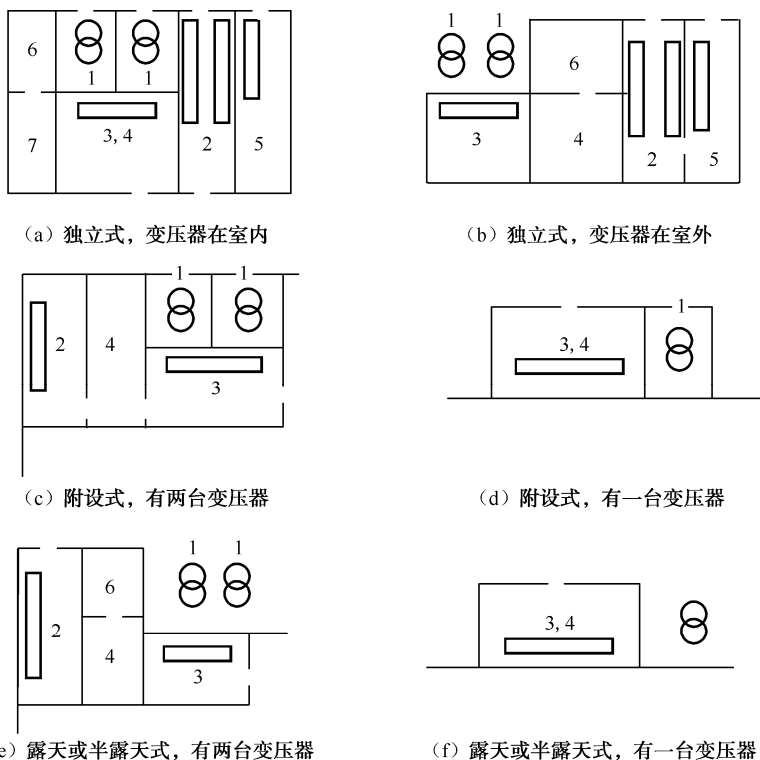
1—10kV 电缆进线；2—10kV 高压开关柜；3—10/0.4kV 主变压器；4—380V 低压配电屏

图 3-16 10kV 高压配电所和附设车间变电所的布置方案示意图

### 3) 6~10/0.4kV 的车间变电所的布置方案

图 3-17 (a) 是一个 6~10/0.4kV 户内式装有两台变压器的独立式变电所的布置方案示意图；图 3-17 (b) 为 6~10/0.4kV 户外式装有两台变压器的独立式变电所的布置方案示意图；图 3-17 (c) 是 6~10/0.4kV 装有两台变压器的附设式变电所的布置方案示意图；图 3-17 (d)

是 6~10/0.4kV 装有一台变压器的附设式变电所的布置方案示意图；图 3-17 (e)、图 3-17 (f) 为 6~10/0.4kV 露天或半露天变电所设有两台和一台变压器的变电所的布置方案示意图。



1—变压器室或露天变压器装置；2—高压配电室；3—低压配电室；4—值班室；5—高压电容器室；  
6—维修间或工具间；7—休息室或生活间

图 3-17 6~10/0.4kV 的车间变电所的布置方案示意图

### 3. 变配电所的结构

#### 1) 变压器室和室外变压器台的结构

(1) 变压器室的结构。变压器室的结构形式取决于变压器的形式、容量、放置方式、主接线方案及进出线的方式和方向等很多因素，并应考虑运行维护的安全及通风、防火等问题。另外，考虑到今后的发展，变压器室宜有更换大一级容量的可能性。

为保证变压器安全运行及防止变压器失火时故障蔓延，根据 GB50053—1994《10kV 及以下变电所设计规范》，可燃油油浸变压器外廊与变压器室墙壁和门的最小净距见表 3-2。

表 3-2 可燃油油浸变压器外廊与变压器室墙壁和门的最小净距 (mm)

序 号	项 目	变压器容量/kV · A	
		100~1000	1250 及以上
1	可燃油油浸变压器外廊与后壁、侧壁净距	600	800
2	可燃油油浸变压器外廊与门的净距	800	1000
3	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与后壁、侧壁净距	600	800
4	干式变压器有金属网状遮拦与后壁、侧壁净距	600	800

续表

序 号	项 目	变压器容量/kV · A	
		100~1000	1250 及以上
5	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与门的净距	800	1000
6	干式变压器有金属网状遮拦与门的净距	800	1000

变压器的门要向外开。室内只设通风窗，不设采光窗。进风窗设在变压器室前门的下方，出风窗设在变压器室的上方，并应有防止雨、雪和蛇、鼠类小动物从门、窗及电缆沟等进入室内的设施。通风窗的面积，根据变压器的容量、进风的温度及变压器中心标高至出风窗中心标高的距离等因素决定。变压器室一般采用自然通风。夏季的排风温度不宜高于 45℃，进风和排风的温度不宜大于 15℃。通风窗应采用非燃烧材料。

变压器室的布置方式按变压器推进方式，分为宽面推进式和窄面推进式两种。

变压器室的地坪按通风要求，分为地坪抬高和不抬高两种形式。变压器室的地坪抬高时，通风散热更好，但建筑费用较高。变压器容量在 630kV · A 及以下的变压器室地坪一般不抬高。

(2) 室外变压器台的结构。露天或半露天变电所的变压器四周，应设不低于 1.7m 高的固定围栏（或墙）。变压器外廊与围栏（墙）的净距离不应小于 0.8m，变压器底部距地面不应小于 0.3m，相邻变压器外廊之间的净距离不应小于 1.5m。

当露天或半露天变压器供给一级负荷用电时，相邻的可燃油油浸变压器的防火净距不应小于 5m。若小于 5m 时，应设置防火墙。防火墙应高出油枕顶部，且墙两端应大于挡油设施两侧各 0.5 m。

## 2) 高、低压配电所的结构

高、低压配电所的结构形式，主要取决于高、低压开关柜（屏）的形式、尺寸和数量，同时要考虑运行、维护的方便和安全，留有足够的操作维护通道，并且要兼顾今后的发展，留有适当数量的备用开关柜的位置，但占地面积不宜过大，建筑费用不宜过高。

高压配电室内各种通道的最小宽度，按 GB50053—1994 规定见表 3-3。

表 3-3 高压配电室内各种通道的最小宽度（根据 GB50053—1994）

开关柜布置方式	柜后维护通道/mm	柜前操作通道/mm	
		固 定 柜 式	手 车 柜 式
单列布置	800	1500	单车长度+1200
双列面对面布置	800	2000	双车长度+900
双列背对背布置	1000	1500	单车长度+1200

注：(1) 固定式开关柜为靠墙布置时，柜后与墙净距应大于 50mm，侧面与墙净距应大于 200mm；

(2) 通道宽度在建筑物的墙面遇有柱内局部凸出时，凸出部分的通道宽度可减少 200mm；

(3) 当电源从柜后进线且需在柜正背后墙上另设隔离开关及手动操作机构时，柜后通道净距不应小于 1.5m，当柜背后的防护等级为 IPX2 时，可减为 1.3m。

采用电缆进出线装设 GG-1A (F) 型开关柜（其柜高 3.1m）的高压配电室高度为 4m，如果采用架空进出线时，高压配电室高度应在 4.2m 以上。如采用电缆进出线，而开关柜为手车式（一般高 2.2m）时，高压配电室高度可降为 3.5m。为了布线和检修的需要，高压开关柜下



面设有电缆沟。

低压配电室内陈列布展的配电屏，其屏前屏后的通道最小宽度规定见表 3-4。

表 3-4 低压配电室内屏前后通道最小宽度（根据 GB50053—1994）

配电柜形式	配电柜布置形式	屏前通道/mm	屏后通道/mm
固定式	单列布置	1500	1000
	双列面对面布置	2000	1000
固定式	双列背对背布置	1500	1500
抽屉式	单列布置	1800	1000
	双列面对面布置	2300	1000
	双列背对背布置	1800	1000

注：当建筑物墙面遇有柱类局部凸出时，凸出部位的通道宽度可减少 200mm。

低压配电室的高度，应与变压器室综合考虑，以便于变压器低压出线。当配电室与抬高地坪的变压器室相邻时，配电室高度不应小于 4m。当配电室与不抬高地坪的变压器相邻时，配电室高度不应小于 3.5m。为了布线的需要，低压配电屏下面也设有电缆沟。

高压配电室的耐火等级不应低于二级，低压配电室的耐火等级不应低于三级。高压配电室宜设不能开启的自然采光窗，窗台距室外地坪不宜低于 1.8m；低压配电室可设能开启的自然采光窗。配电室临街的一面不宜开窗。

高、低压配电室的门应向外开。相邻配电室之间有门时，其门应能双向开启。

配电室应设置防止雨、雪的设施，以及防止小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入室内的设施。

长度大于 7m 的配电室应设两个出口，并宜设在配电室的两端，长度大于 60m 时，宜再增加一个出口。

### 3) 高、低压电容器室的结构

高、低压电容器室采用的电容器柜，通常都是成套型的。按 GB50053—1994 规定，成套电容器柜单列布置时，柜下面不应小于 1.5m；当双列布置时，柜面之间距离不应小于 2.0m。

高压电容器室的耐火等级不应低于二级，低压电容器室的耐火等级不应低于三级。

电容器室应有良好的自然通风，当自然通风不能满足排热要求时，可增设机械排风。电容器室应设温度指示装置。电容器室的门也应向外开。

电容器室也应设置防止雨、雪的设施，以及防止小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入室内的设施。电容器室的顶棚、墙面及地面的建筑要求与配电室相同。

### 4) 值班室的结构

值班室的结构形式要结合变配电所的总体布置和值班室工作要求全盘考虑。例如，值班室要有良好的自然采光，采光窗宜朝南；值班室内除通往配电室、电容器室的门外，通往外边的门，应向外开。这样才能有利于运行维护。

## 4. 组合变电所

组合变电所又称箱式变电所，它把变压器和高、低压电气设备按一定的一次接线方案组合在一起，置于一个箱体内，具有变电、电能的计量、无功补偿、动力配电、照明配电等多种功能。这种组合式变电所不必建造变压器室和高、低压配电室，大大减少了土建投资和现场安装

工作量，简化了供配电系统，而且能深入负荷中心。

这种箱式变电所分为户内式和户外式两种。户内式主要用于高层建筑和民用建筑的供电，户外式则更多用于工矿企业、公共建筑和住宅小区的供电。箱式变电所用在市区、可装在人行道旁、绿化区、道路交叉口、生活小区、生产厂区、高层建筑等处。

#### 1) 箱式变电所的特点

箱式变电所主要由多回路高压开关系统、铠装母线、变电站综合自动化系统、通信、远动、补偿及直流电源等电气单元组合而成，安装在一个防潮、防锈、防尘、防鼠、防火、防盗、封闭、可移动的钢结构箱体内，机电一体化、全封闭运行。主要有以下特点：

(1) 技术安全可靠。箱体部分采用国内领先技术及工艺，外壳一般采用镀铝锌钢板或复合式水泥板，框架采用标准集装箱材料，有良好的防腐性能，保证 20 年不锈蚀；内封板采用铝合金扣板，夹层采用防火保温材料，内装空调及除湿装置，设备运行不受自然气候环境及外界污染影响，可保证在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 的环境中正常运行。

箱体内一次设备常用全封闭高压开关柜（如 XGN 型）、干式变压器、干式互感器、真空断路器、旋转隔离开关等国内技术领先设备，产品无裸露带电部分，为全封闭、全绝缘结构，全站可实现无油化运行，安全可靠性强。

(2) 自动化程度高。全站采用智能化设计，保护系统采用变电站微机综合自动化装置，分散安装的每个单元均具有独立运行功能，继电保护功能齐全，箱体内湿度、温度可接线控制和远方烟雾报警，满足无人值班的要求。

(3) 工厂预制化。设计时，只要设计人员根据变电站的实际要求，设计出主接线和箱内设备，就可根据厂家提供的箱变规格和型号，所有设备在工厂一次安装、调试合格，大大缩短建设工期。

(4) 组合方式灵活。箱式变电所由于结构比较紧凑，每个箱体均构成一个独立系统，这就使得组合方式灵活多变。可以全部采用箱式，也就是说，35kV 及 10kV 设备全部箱内安装，组成箱式变电所；也可采用开关箱，35kV 设备室外安装，10kV 设备及控制保护系统箱内安装。对于后一种组合方式，特别适用于旧站改造，即原有 35kV 设备不动，仅安装一个 10kV 开关箱即可达到无人值守的要求。总电站没有固定的组合模式，使用单位可根据实际情况自由组合一些模式，以满足安全运行的要求。

(5) 投资见效快。箱式变电所比同规模常规变电所减少投资 40%~50%。在箱式变电所中，由于先进设备的选用，特别是无油设备的运行，从根本上彻底解决了电站中的设备渗漏问题，减少维护工作量，节约运行维护费用，整体经济效益十分可观。

(6) 占地面积小。同容量箱式变电所的占地面积仅为土建站所占面积的 1/5~1/10。

(7) 外形美观，易于环境协调。

#### 2) 箱式变电所的总体结构

箱式变电所包括三个主要部分，即高压开关设备、变压器、配电装置。箱式站的总体布置主要有两种形式：组合式和一体式。组合式，是指这三部分各为一室而组成“目”字型或“品”字型布置；一体式是指以变压器为主体，熔断器及负荷开关等装在变压器箱体内，构成一体式布置。我国的箱式变电所一般为组合式布置。

组合式布置中，高压开关设备所在的室一般称为高压室，变压器所在的室称为变压器室，低压配电装置所在的室称为低压室。其中，每个部分都由生产厂家按一定的接线方案生产和



成套供应，再现场组装在一个箱体内，这种箱式变电所不必专门建造变压器室、高低压配电室等，因而大大减少了土建投资，简化了供电系统。

以德国西门子公司生产的 8FA 型箱式变电所为例来介绍该类变电所的结构和布置。

(1) 8FA 型箱式变电所的主接线图如图 3-18 所示。

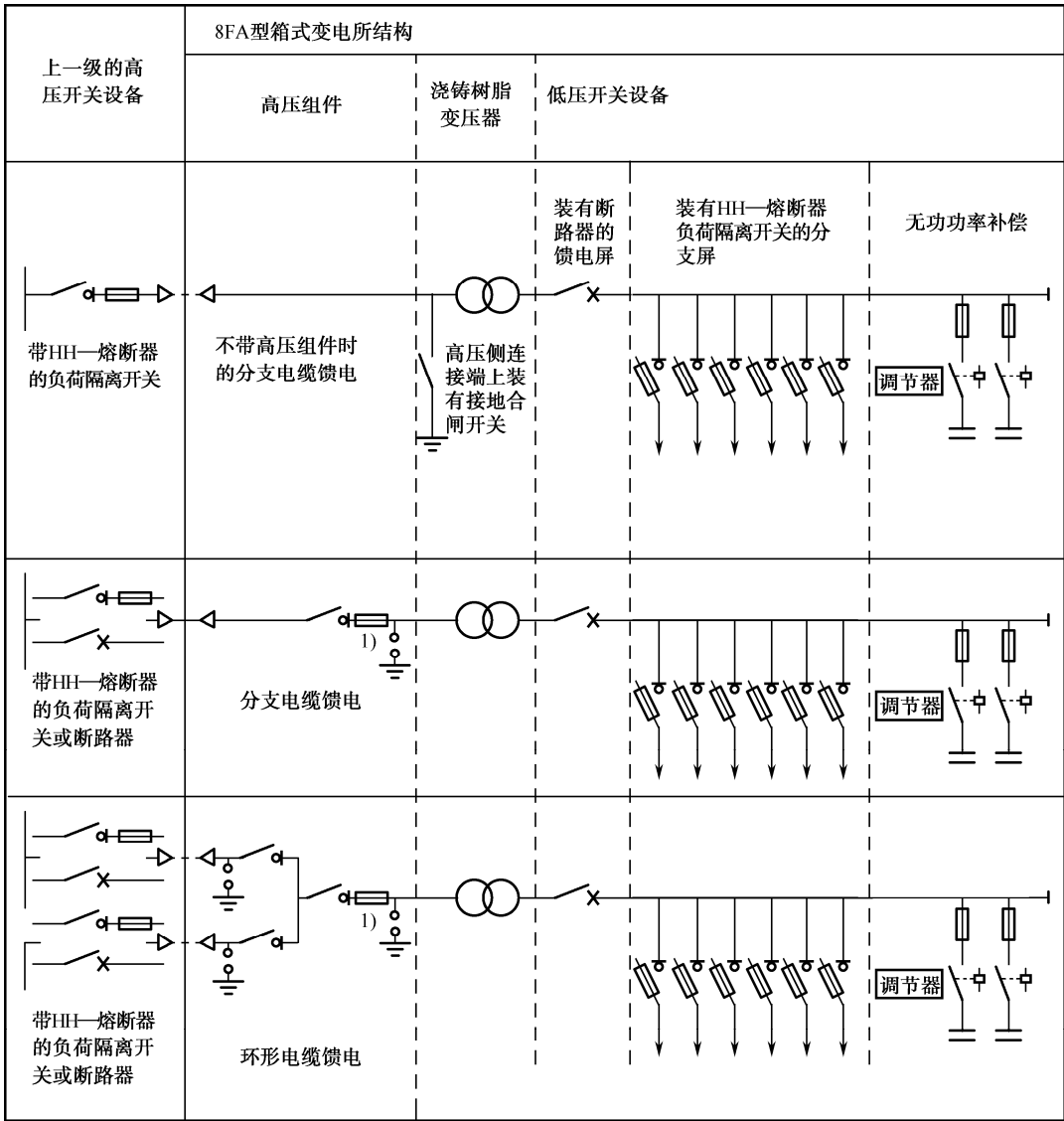


图 3-18 8FA 箱式变电站的主接线图

(2) 8FA 箱式变电所的总体布置方案（图 3-19）。其布置方案可根据安装地点空间的具体情况进线安排。而且，这种箱式变电所不仅可安装在地坪上，也可安装在车间内的中间隔层上，在汽车制造厂内往往采用后一种安装方式。

(3) 8FA 箱式变电所的内部结构由高压设备、带变压器外壳的干式变压器和低压设备组成。

其高压设备装在一个涂漆钢板外壳内，一般采用的是负荷开关—高压熔断器组合，由电缆馈电，接地装置采用接地合闸开关。干式变压器在一个变压器壳内，该外壳能防止直接或间接

触及变压器；外壳的类型有顶部装有风机的强制通风运行方式的变压器外壳和顶部装有顶罩、用于自然通风运行方式的变压器外壳。低压开关设备由各钢板封装的单个低压配电屏组成。

由于全部电器采用无油或少油的电器，因此，运行更加安全，维护工作量小，结构紧凑，同时外形可做得美观。

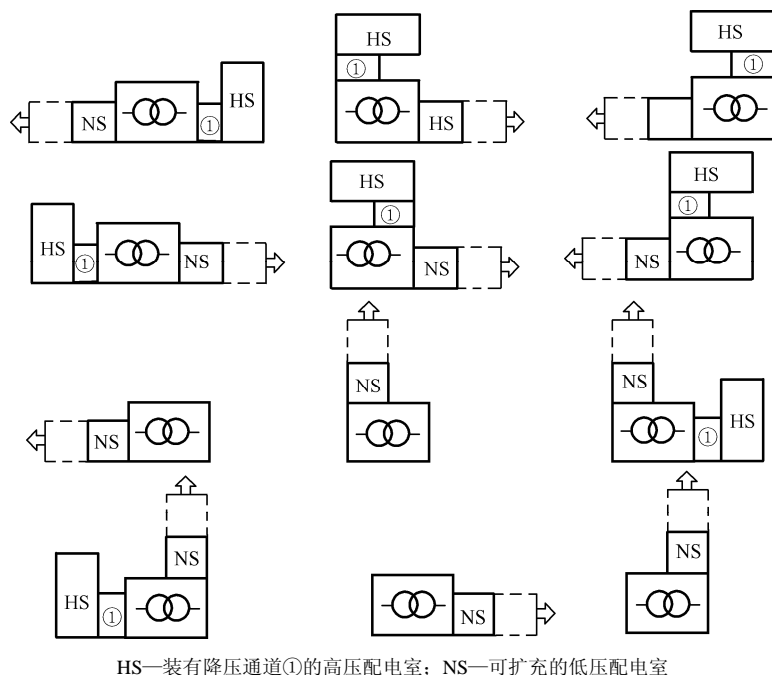


图 3-19 8FA 箱式变电站的总体布置方案

### 实操训练 5 变电所电气主接线实例读图训练

这里以一座 35kV 厂用变电所的主接线图为例讲述具体的识图方法。一座 35kV 厂变电所包括 35/10kV 的中心变电所和 10/0.4kV 的变电室两个部分，中心变电所的作用是把 35kV 的电压降到 10kV，并把 10kV 送至厂区各个车间的 10kV 变电室中去，供车间动力、照明及自动装置用电；10/0.4kV 中心变电室的作用是把 10kV 电源降到 0.4kV，并把 0.4kV 送至厂区办公、食堂、文化娱乐、宿舍等公共用电场所。

图 3-20 是某厂的中心变电所的电气主接线图。从这张电气主接线图中可以看出该系统有三级电压，这三级电压是用变压器连接的，它们的主要作用就是把电能分配出去，再输送给各个电力用户。变电所内还装设了保护、控制、测量、信号及齐全的自动装置，由此显示出变配电装置的复杂性。

系统为两路 35kV 供电，来自不同的电站，进户处设置接地隔离开关、避雷器、电压互感器。其中设置隔离开关的目的是线路停电时，该接地隔离开关闭合接地，站内可以进行检修，减去了挂临时接地线的工作。

与接地隔离开关关联的另一组隔离开关是把电源送到高压母线上的开关，并设置电流互感器，与电源互感器构成测量电能的取样元件。

高压母线分两段，并用隔离开关作为联络开关，当一路电源故障或停电时，可将联络开关

合上，两台主变压器可由另一路电源供电。联络开关两侧的母线必须经过核相，保证它们的相序相同。

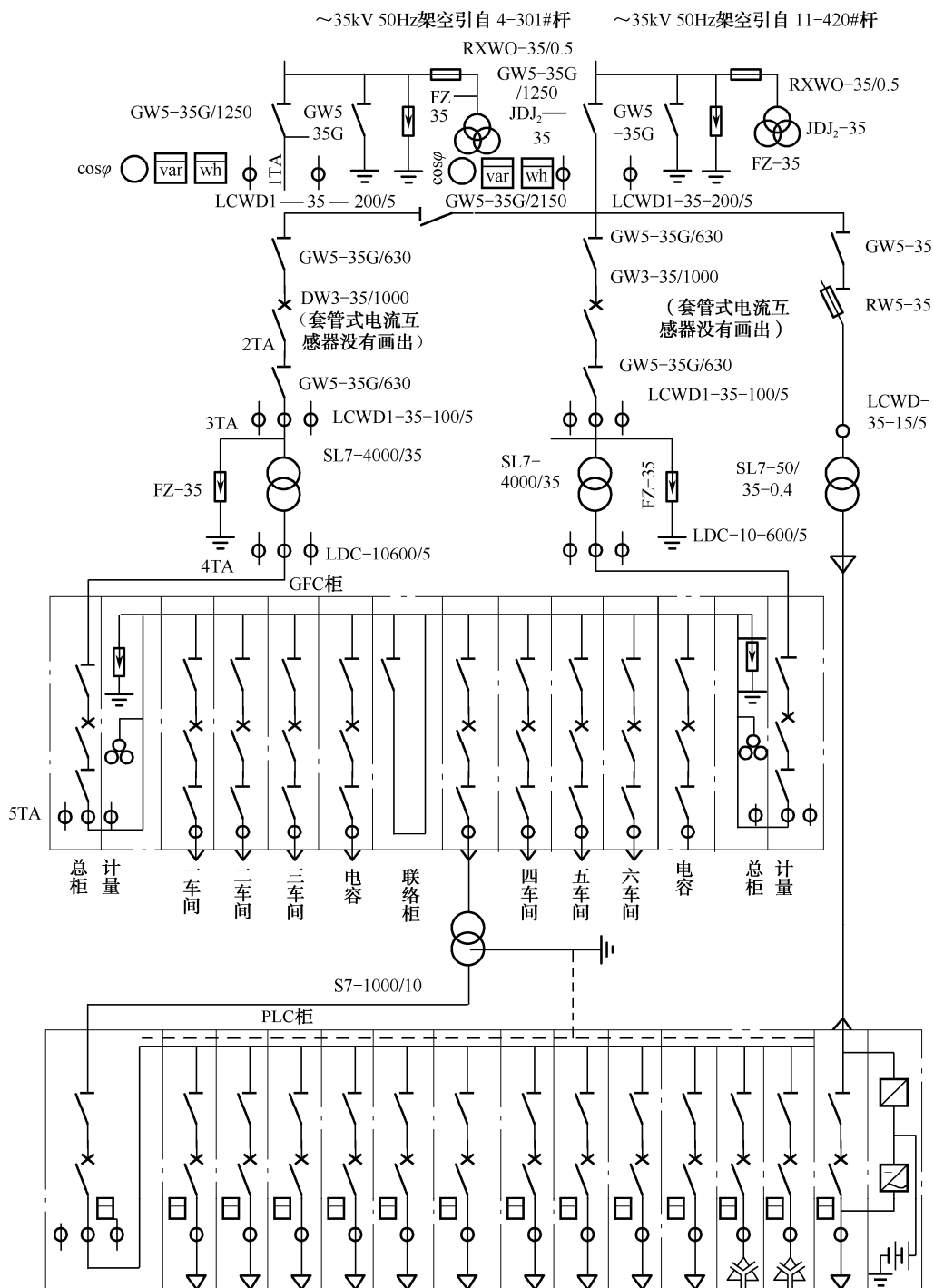


图 3-20 某厂用 35kV 中心变电所的电气主接线图

每段母线设置一台主变压器，变压器由 DW5 油断路器控制，并在断路器的两侧设置隔离

开关 GW5，以保证断路器检修时安全。

变压器两侧设置电流互感器 3TA 和 4TA，以便构成差动保护的测量回路，同时主变压器进口侧设置一组避雷器，以实现主变压器过电压保护。在进户处设置的避雷器是保护电源进线和母线过电压的。油断路器的套管式电流互感器 2TA 做保护测量用。

变压器出口引入高压室内的 GFC 型开关计量柜，柜内设有电流互感器、电压互感器供测量保护用，还设有避雷器保护 10kV 母线过电压。10kV 母线由联络柜联络。

馈电柜将 10kV 电源送至各个车间及大型用户，10kV 公共变压器的出口引入低压室内的低压总柜上，总柜内设有刀开关和低压断路器，并设有电流互感器和电能表作为测量元件。

由 35kV 母线经 GW5 隔离开关，RW5 跌落式熔断器引至一台站用变压器 SL7-50/35-0.4，专供站内用电，并经过电缆引至低压中心变电室的站用柜内。这是一台直接将 35kV 变为 400V 到变压器，与主变压器的电压等级相同。

低压变电室内设有 4 台 UPS，供停电时动力和照明用，以备检修时有足够的电力。

### 3.1.4 问题与思考

1. 常见的典型电气主接线方式包括哪些？单母线分段接线有什么特点？
2. 与单母线接线相比，双母线接线有什么优点？双母线带旁母的接线方式是否很普遍？
3. 10kV/0.4 kV 变电所的电气主接线有哪些形式？各适用于什么场合？
4. 内桥式接线盒外桥式接线各适用于哪些电压等级及场合？

## 任务 2 工厂电力网络

### 【任务描述】

本任务主要介绍工厂内电力网络的功能和结构。分别讲述工厂内部高、低压电力线路的接线方式；工厂架空线路和电缆线路的构成、特点、运行管理及故障分析处理；车间内配电线路的结构、敷设方式及运行维护；线路运行时突然停电时的处理方法。

### 【知识链接】

#### 3.2.1 高压配电线路的接线方式

##### 1. 放射式接线

高压放射式接线是指由工厂变配电所高压母线上引出单独的线路，直接供给车间变电所或高压用电设备，在该线路上不再分接其他高压用电设备，如图 3-21 (a) 所示。这种方式接线方式简捷，操作维护方便，保护简单，便于实现自动化。但高压开关设备用得较多，投资高，当线路故障或检修时，该线路上全部负荷都将停电。为提高供电的可靠性，根据具体情况可增加设备用线路，如图 3-21 (b) 所示为采用双回路放射式线路供电，图 3-21 (c) 所示为采用公共设备用线路供电，图 3-21 (d) 所示为采用低压联络线供电线路等，这些供电线路大大增加了供电的可靠性。

##### 2. 树干式接线

高压树干式接线是指从工厂变配电所高压母线上引出一回路供电干线，沿线分接至几个车

间变电所或负荷点的接线方式,如图 3-22 (a) 所示。一般干线上连续的车间变电所不得超过 5 个,总容量不应大于  $3000\text{kV}\cdot\text{A}$  ( $\text{kW}$ ),这种接线从变配电所一次的线路少,高压开关设备相应用得少,比较经济,但可靠性差,因为干线上任一点发生故障或检修时,将引起干线上的所有符合停电。为提高可靠性,同样可采用增加备用的方法。图 3-22 (b) 所示为采用两端电源供电的单回路树干式供电,若一侧干线发生故障,还可采用另一侧干线供电。另外,也可采用单侧双回路树干式供电和带单独公共备用线路的树干式供电来提高供电可靠性,如图 3-22 (c) 和 (d) 所示。

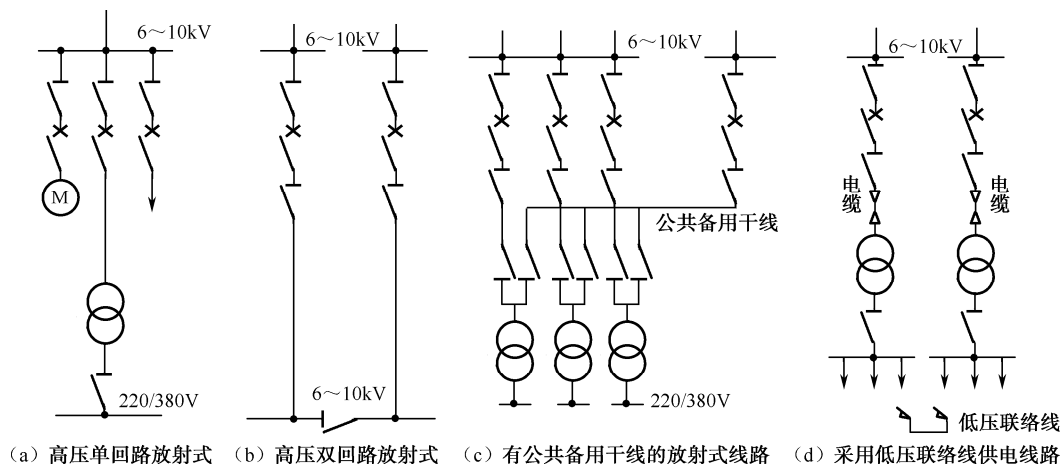


图 3-21 高压放射式接线

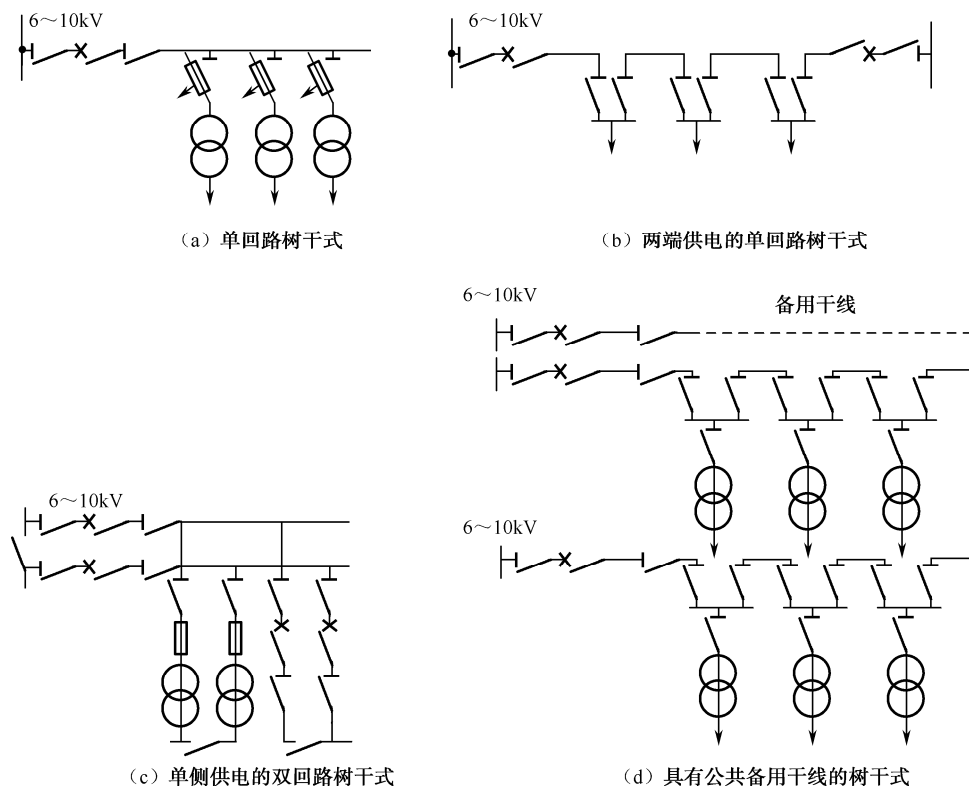


图 3-22 高压树干式接线

### 3. 环式接线

高压环式接线其实是两端供电的树干式接线，如图 3-23 所示。这种接线方式灵活，供电可靠性高。当干线上任何地方发生故障时，只要找出故障段，拉开其两侧的隔离开关，把故障段切除后，全部线路就可以恢复供电。由于闭环运行时继电保护整定比较复杂，所以正常运行时一般均采用开环运行方式，即环形线路中有一处开关是断开的。

实际上工厂高压配电系统的接线方式往往是几种接线方式的组合，究竟采用什么接线方式，应根据具体情况，经技术经济综合比较后，才能确定合理的接线方式。

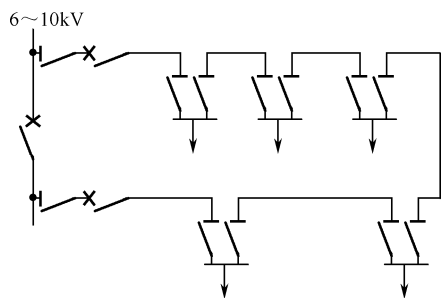


图 3-23 高压环式接线

### 3.2.2 低压配电线路的接线方式

工厂低压配电线路的基本接线方式也可分为放射式、树干式和环式。

#### 1. 放射式接线

低压放射式接线如图 3-24 所示，由车间变电所的低压配电屏引出独立的线路供电给配电箱或大容量设备，再由配电箱引出独立的线路到各控制箱或用电设备。这种接线方式供电可靠性较高，任何一个分支出现故障，都不会影响其他线路供电，运行操作方便，但所用开关设备及配电线路也较多。放射式接线多用于负荷分布在车间内各个不同方向，用电设备容量大的场合。

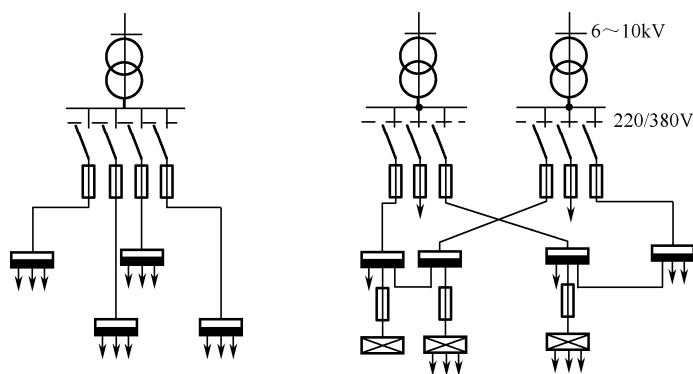


图 3-24 低压放射式接线

#### 2. 树干式接线

低压树干式接线，是将用电设备或配电箱接到车间变电所低压配电屏的配电干线上，如图 3-25 (a) 所示。这种接线的可靠性不如放射式，主要适用于容量较小且分布均匀的用电

设备。当干线出现故障时会使所连接的用电设备均受到影响,但这种接线方式引出的配电干线较少,采用的开关设备较少,节省投资。

变压器—干线式接线方式是由变压器二次侧引出线经过自动空气开关(或隔离开关)直接引至车间内的干线上,然后由干线上引出分支线配电,如图 3-25 (b) 所示。这种接线方式省去了变电所的低压侧配电装置,简化了变电所的结构,可节约投资。图 3-25 (c) 所示为链式接线,适用于用电设备距离近,容量小(总容量不超过 10kW)的次要设备,一般串联的设备不宜超过 3~5 台的情况。

### 3. 环式接线

工厂内各车间变电所的低压侧,可以通过低压联络线连接起来,构成一个环,如图 3-26 所示。这种接线方式供电可靠性高,一般线路故障或检修只是引起短时停电或不停电,经切换操作后可恢复供电。环式接线保护装置整定配合比较复杂,所以低压环形供电多采用开环运行。

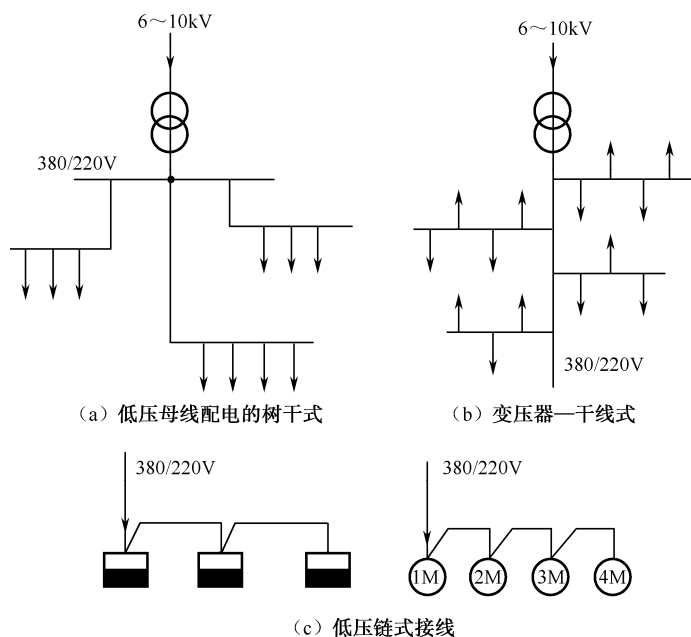


图 3-25 树干式接线

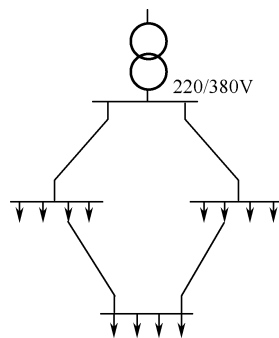


图 3-26 低压环形接线

实际工厂低压配电系统的接线,也往往是上述几种接线方式的组合,可根据具体实际情况而定。

### 3.2.3 工厂架空线路的结构

工厂架空线路由导线、电杆、横担、绝缘子及拉线和金具构成。为了平衡电杆各方向的拉力,增强电杆的稳定性,有的电杆上还装有拉线。为防雷击,有的架空线路上还架有避雷线。架空线路的基本结构如图 3-27 所示。

#### 1. 导线

导线必须具有良好的导电性和足够的机械强度。导线有裸导线和绝缘导线两种。架空线路一般采用裸导线较多。因为裸导线的散热条件比绝缘导线好,可以传输较大的电流,同时,裸

图 3-27 架空线路的基本结构

## 2. 电杆

根据电杆在线路中的作用，可分为直线杆、耐张杆、终端杆、转角杆、分支杆和特种杆六种。

(4) 转角杆。转角杆用在线路改变方向的地方，通过转角可以实现线路转弯。



(5) 分支杆。分支杆用于线路的分支处，它是一种特殊的耐张杆，受外力作用较多，承受顺线路方向的拉力、导线的重力、水平方向的风力及分支线路方向的导线拉力、重力等。

(6) 特种杆。用于跨越铁路、公路、河流、山谷的跨越杆塔，线路中导线需要换位处的换位杆塔及其他电力线路所采用的特殊形式的杆塔，统称为特种杆。

### 3. 横担

电杆与横担组装在一起，其作用是支持绝缘子以架设导线，保持导线对地及导线与导线之间有足够的距离。常用的横担有铁横担、木横担和瓷横担。铁横担的机械强度高，应用广泛。瓷横担兼有横担和绝缘子的作用，但机械强度低，一般仅用于较小截面导线的架空线路。

横担的长度根据导线的根数和导线间距决定。导线随电压和相邻电杆间挡距（跨距）的大小决定。表 3-5 列出了低压线路不同挡距时的最小线间距离。挡距越大，线间距离也越大，以防止风吹导线时造成搭线，引起线间短路。

表 3-5 低压线路不同挡距时的最小线间距离

挡距/mm	40 及以下	50	60	70
线间距离/m	0.3	0.4	0.45	0.5

规程规定，高压与高压线路同杆架设时，直线杆横担间的垂直距离不小于 0.8m，分支杆分支横担或转角杆转角横担间垂直距离不小于 0.45/0.6m（距上面横担 0.45m，距下面横担 0.6m）。高压与低压线路同杆架设时，直线杆横担间的垂直距离不小于 1.2m，分支杆或转角杆横担间垂直距离不小于 1m。低压与低压线路同杆架设时，直线杆横担间的垂直距离不小于 0.6m，分支杆或转角杆横担间垂直距离不小于 0.3m。

### 4. 绝缘子

绝缘子又称瓷瓶，用来固定架空导线，使导线与电杆之间、导线与导线之间绝缘。因此，要求绝缘子必须具有良好的绝缘性能，同时要有足够的机械强度。绝缘子有高压绝缘子和低压绝缘子之分。

在工厂架空线路上常用的绝缘子有针式绝缘子、蝴蝶式绝缘子、拉线绝缘子，其形式如图 3-28 所示。绝缘子做成波纹状的，这样可以延长爬弧长度，增加电弧爬弧距离，而且每一个波纹又能起到阻断电弧的作用。当遇到大雨时，雨水不能直接由上部流到下部形成水柱而造成接地短路，起到阻断水流的作用。

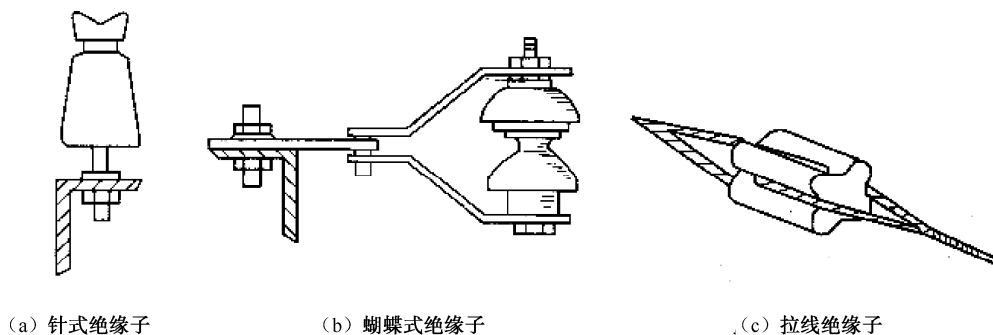


图 3-28 常见的几种绝缘子

针式绝缘子有木横担直脚、铁横担直脚和铁横担弯脚三种类型。按针脚长短分为长脚绝缘子和短脚绝缘子。长脚绝缘子用在木横担上，短脚绝缘子用在铁横担上。

蝴蝶式绝缘子用在耐张杆、转角杆和终端杆上。拉线绝缘子用在拉线上，使拉线上下两段互相绝缘。

### 5. 拉线和金具

金具是架空线路上用来连接导线、安装横担和绝缘子等所用到的金属部件。常用的金具如图 3-29 所示。

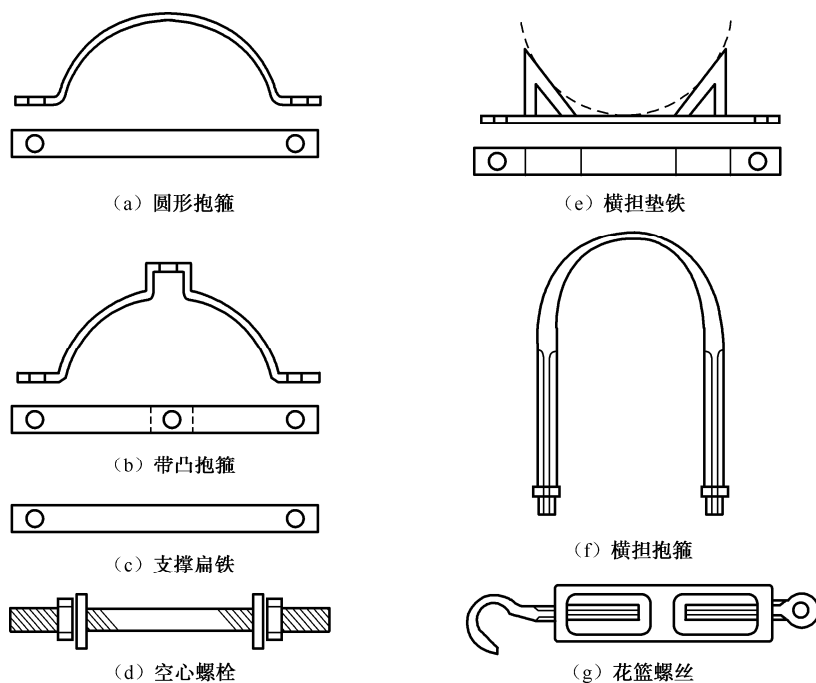


图 3-29 常用的各种金具

利用圆形抱箍可以把拉线固定在电杆上；利用花篮螺丝可以调节拉线的紧度；利用横担垫铁和横担抱箍可以把横担装在电杆上；支撑扁铁从下面支撑横担，可以防止横担歪斜，支撑扁铁的下端需要固定在带凸抱箍上；木横担安装在木电杆上时，需要用穿心螺钉拧紧。各种金具都应该镀锌或涂漆，防止生锈。

拉线是为了平衡电杆各方面的作用力，并抵抗风力，防止电杆倾倒。耐张杆、转角杆、终端杆都装有拉线。

### 6. 架空线的敷设

(1) 确定架空线路。正确选择线路路径来确定杆位，线路的路径选择应力求线路最短，转角要少，尽可能避免交叉跨越，避开污垢和易燃、易爆环境，避开江河、道路和建筑物，交通运输方便，便于施工架设和维护。

(2) 确定档距、弧垂和杆高。同一线路上两相邻电杆的水平距离称为档距，又称跨距。弧垂是指在一个档距内导线在电杆上的悬挂点与导线最低点间的垂直距离，如图 3-30 所示。导线的弧垂是由导线自身荷重形成的，弧垂不能过大，也不能过小，过大则在导线摆动时容易造成相间短路，过小则导线拉力过大，可能造成断线或倒杆现象。

导线挡距、弧垂和杆高等其他的距离应根据有关的技术规程来确定，应严格遵循执行。

(3) 导线在电杆上的布置方式。三相四线制低压线路多采用水平排列，如图 3-31 (a) 所示。中性线一般架设在靠近电杆的位置。三相三线制线路采用三角形排列，如图 3-31 (b)、图 3-31 (c) 所示，也可以水平排列，如图 3-31 (f) 所示。多回路导线同杆架设时，可三角形、水平混合排列，如图 3-31 (d) 所示，也可以全部垂直排列，如图 3-31 (e) 所示。不同电压等级的线路同杆架设时，一般要求电压高的线路架设在上面，而电压低的线路架设在下面。

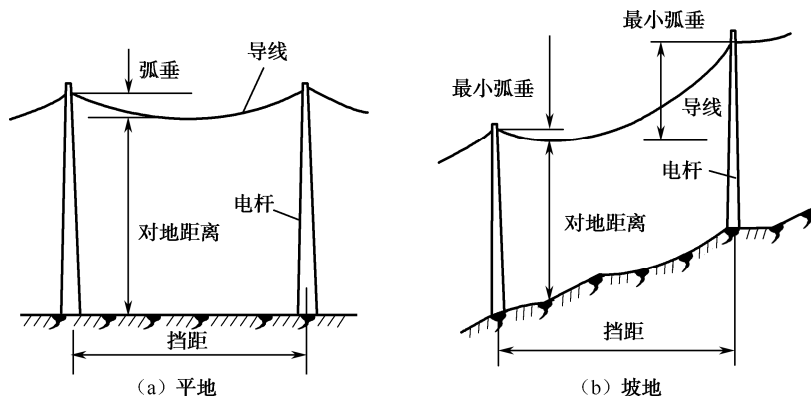


图 3-30 架空线路的挡距和弧垂

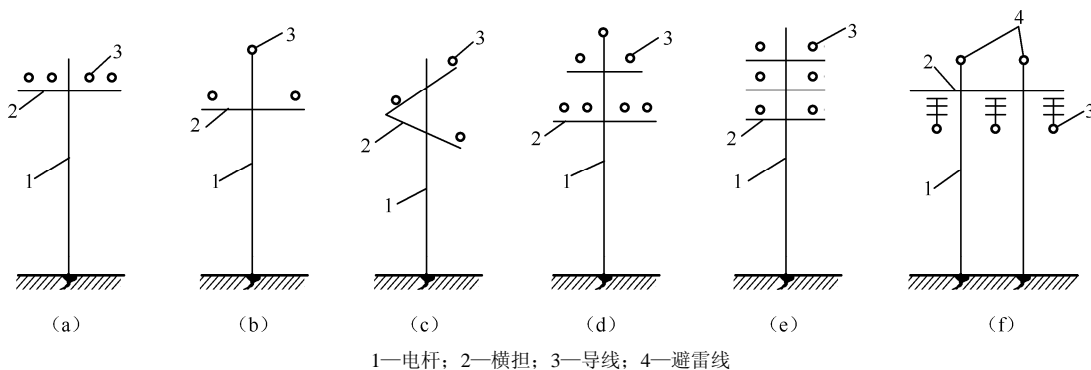


图 3-31 导线在电杆上的布置方式

高压输电线路中，当三相导线排列不对称时，各相导线的等值电感不相同，引起三相参数不对称。因此，必须利用导线换位来使三相回路对称。图 3-32 为导线换位及经过的一个整循环换位的示意图。当线段长度相同时，三相导线 a、b、c 处于 1、2、3 位置长度也相同，这样便可使各相平均电感接近相同。

### 3.2.4 工厂架空线路的运行管理和维护

工厂架空线路长期露天运行，受环境和气候影响，会发生断线、污染等故障。为确保线路长期安全运行，必须坚持经常性的巡视和检查，以便及时消除设备隐患。

#### 1. 线路巡视

线路巡视是为了经常掌握线路的运行状况，及时发现设备缺陷和隐患，为线路检修提供依据，以保证线路正常、可靠、安全运行。线路巡视检查的方法有下列几种。

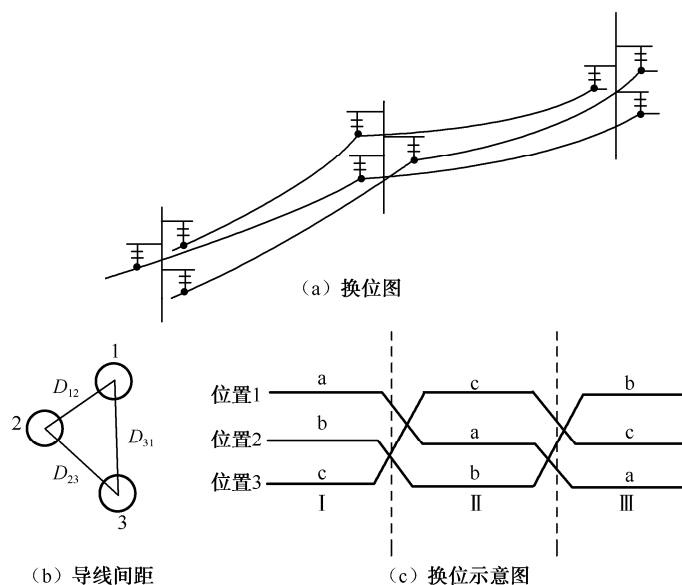


图 3-32 导线换位示意图

(1) 定期巡视。定期巡视能够经常掌握线路各部件的运行状况及沿线情况。35~110kV 线路一般每月进行一次，6~10kV 线路每季至少进行一次。

(2) 特殊巡视。特殊巡视是在气候剧烈变化（如大风、大雪、大雾、导线结冰、暴雨等）、自然灾害（如地震、山洪、森林大火等）、线路过负荷和其他特殊情况时，对全线或某段或某些部件进行巡视，以便及时发现线路的异常情况和部件的变形损坏。

(3) 夜间巡视。夜间巡视是为了检查导线、引流线接续部分的发热、冒火花或绝缘子的污秽放电等情况。夜间巡视最好在没有光亮或线路供电负荷最大时进行。一般来说，35~110kV 线路一般每季进行一次，6~10kV 线路每半年进行一次。

(4) 故障巡视。故障巡视是为了及时查明线路方式故障的原因、故障地点及故障情况，以便及时消除故障和恢复线路故障供电。所以在线路方式故障后，应立即进行巡视。

(5) 登塔杆巡查。登塔杆巡查是为了弥补地面巡视的不足而对塔杆上部件的巡查。这种巡查根据需要进行。登塔杆巡查要派专人监护，以防触电伤人。

## 2. 事故预防

架空配电线路经常出现故障的设备有电杆、导线、绝缘子等。因此，应根据事故特点，掌握季节和环境变化，采取以下预防措施。

(1) 防污。污害能引起绝缘子表面闪络或把绝缘子烧毁，特别是大雾天气里更容易发生闪络事故。因此，在大雾天气或者雨雪季节来临之前，应抓紧绝缘子的清扫、紧固连接螺栓等几项工作，以防泄漏电流引起绝缘子表面闪络。

(2) 防雷。在雷雨季节到来之前，应做好防雷设备的试验检查和安装工作，并按期测试接地装置的电阻及更换损坏的绝缘子。

(3) 防暑。由于天气热，导线满载运行，使导线弧垂增大，以致风吹导线时造成相间放电或短路，保证导线烧断。因此，在高温季节到来之前，应检查各相导线的弧垂，以防止因气温升高弧垂增大而发生事故。对满负荷运行的电气设备，要加强温度监视。

(4) 防寒防冻。冬季天气寒冷, 导线热胀冷缩, 会使导线缩短, 弧垂太小, 拉力增大, 以致发生断线故障。因此, 在严冬季节到来之前, 应特别注意导线弧垂, 过紧的应加以调整, 以防断线。

(5) 防风。大风会增大对电杆的拉力, 因此, 在风季到来之前, 要加固拉线及电杆基础, 清扫线路周围尘物及树木, 以免树碰导线造成事故。

(6) 防汛。雨季到来线路长期露天运行, 会使杆根积水, 可能发生倒杆事故。因此, 要采取各种防止倒杆措施。

### 3. 线路检查

低压架空线路长期露天运行, 受环境和气候影响会发生断线、污染等故障。为确保线路长期安全运行, 必须坚持经常巡视和检查, 以便及时消除设备隐患。

(1) 电杆。电杆的检修主要是加固电杆基础, 扶直倾斜的电杆, 修补有裂纹露钢筋的水泥杆, 处理接触不良的接头和松弛、脱落的绑线, 紧固电杆各部分的连接螺母, 更换或加固腐朽的木杆及横担。

(2) 导线。检修导线主要是调整导线的弧垂, 修补或更换损伤的导线, 调整交叉跨越距离。

(3) 绝缘子。绝缘子要清扫, 并及时更换劣质或损坏的绝缘子、金具或横担。

### 3.2.5 架空绝缘线路

架空绝缘线路应具有以下特点:

(1) 绝缘性能好。可减少线路相间距离, 降低对线路的支持件的绝缘要求, 提高同杆架设线路的回路数。

(2) 防腐蚀性能好。可延长线路的使用寿命。

(3) 防外力破坏。减少受树木、飞飘金属膜和灰尘等外在的因素的影响。

(4) 强度达到要求。

除有低压架空绝缘导线外, 也有 10kV 架空绝缘导线。架空绝缘导线有铝芯和铜芯两种。在配电网中, 铝芯线应用比较多, 主要是铝材比较轻, 而且较便宜, 对线路连接件和支持件的要求低。铜芯线主要是作为变压器及开关设备的引下线。架空绝缘导线的绝缘保护层有厚绝缘 (3.4mm) 和薄绝缘 (2.5mm) 两种。厚绝缘运行时允许与树木频繁接触, 薄绝缘只允许与树木短时间接触。绝缘保护层又分为交联聚乙烯和轻型聚乙烯, 交联聚乙烯的绝缘性能更优良。10kV 架空绝缘导线有 TRYJ (软铜芯交联聚乙烯), LYJ (铝芯交联聚乙烯) 等。

架空绝缘线路可采用裸导线用的水泥电杆、铁附件及陶瓷绝缘子, 按裸导线架设方式进行架设。也可采用特制的绝缘支架悬挂导线, 这种方式可增加架设的回路数, 降低线路的单位造价。

绝缘导线与裸导线在同一规格内, 绝缘导线的载流量比裸导线载流量要小。因为绝缘导线加上绝缘层以后, 大小散热较差, 其载流能力差不多比裸导线低一个档次。因此, 设计选型时, 绝缘导线要选大一档。架空绝缘线路的导线排列与裸导线线路基本系统可分为三角、垂直、水平及多回路同杆架设。由于架空绝缘导线有良好的绝缘性能, 因此相间距离比裸导线要小。

### 3.2.6 工厂电缆线路、结构、型号及敷设

电力电缆同架空线路一样, 主要用于传输和分配电能。它受外界因素 (雷电、风害等) 的影响小, 供电可靠性高, 不占路面, 发生事故不易影响人身安全, 但成本高, 查找故障困难,

接头处理复杂。一般在建筑或人口稠密的地方或不方便架设架空线的地方采用电力电缆。

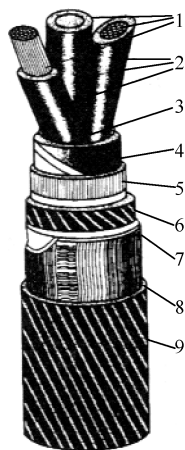
### 1. 电缆的种类

电缆的种类很多, 根据电压、用途、绝缘材料、线芯数和结构特点有以下分类:

(1) 按电压可分为高压电缆和低压电缆。

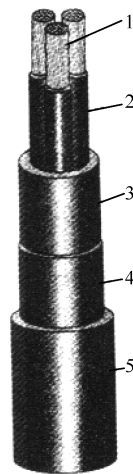
(2) 按线芯数可分为单芯、双芯、三芯和四芯等。

(3) 按绝缘材料可分为油浸纸绝缘电缆(图 3-33)、塑料绝缘电缆和橡胶绝缘电缆及交联聚乙烯电缆(图 3-34)等。



1—缆芯（铜芯或铝芯）；2—油浸纸绝缘层；3—麻筋（填料）；  
4—油浸纸（统包绝缘）；5—铅包；6—涂沥青的纸带（内护层）；  
7—浸沥青的麻被（内护层）；8—钢铠（外护层）；  
9—麻被（外护层）

图 3-33 油浸纸绝缘电缆



1—缆芯（铜芯或铝芯）；2—交联聚乙烯绝缘层；  
3—聚氯乙烯护套；4—钢铠或铝铠（外护层）；  
5—聚氯乙烯外套（外护层）

图 3-34 交联聚乙烯电缆

油浸纸绝缘电缆成本低, 结构简单, 制造方便, 易于安装和维护, 但因为其内部有油, 因此, 不宜在高温度差的环境下。塑料绝缘电缆稳定性高, 安装简单, 但塑料受热易老化变形。交联聚乙烯绝缘电缆耐热性好, 载流量大, 适宜高落差甚至垂直敷设。橡胶绝缘电缆弹性好, 性能稳定, 防水防潮, 一般用做低压电缆。

### 2. 电力电缆的基本结构

电缆由线芯、绝缘层和保护层三部分组成。

电缆线芯要求有良好的导电性, 以减少输电线路上能量的损失。有铜芯电缆和铝芯电缆, 一般情况下, 尽量选用铝芯电缆, 在一些特殊环境下, 如有爆炸危险、腐蚀严重及安全要求较高等的环境下, 可选用铜芯电缆。

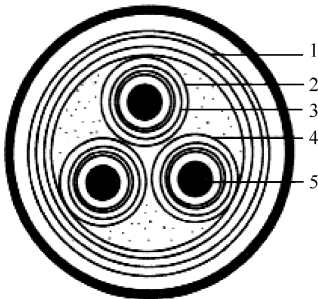
绝缘层的作用是将线芯导体间及保护层相隔离, 因此, 必须具有良好的绝缘性能、耐热性能。油浸纸绝缘电缆以油浸纸作为绝缘层, 塑料电缆以聚氯乙烯或交联聚乙烯作为绝缘层。

保护层又可分为内护层和外护层两部分, 内护层直接用来保护绝缘层, 常用的材料有铅、铝和塑料等。外护层用于防止内护层免受机械损伤和腐蚀, 通常为钢丝或钢带构成的钢铠, 外覆沥青、麻被或塑料护套。电缆的剖面图如图 3-35 所示。

电缆头指的是两条电缆的中间接头和电缆终端的封端头。电缆头是电缆线路的薄弱环节,



线路中的很大部分故障是发生在接头处，因此，电缆头的制作必须严格要求，在施工和运行中要由专业人员进行操作。



1—铅皮；2—缠带绝缘；3—芯线绝缘；4—填充物；5—导体

图 3-35 电缆的剖面图

### 3. 电缆型号

每一个电缆型号表示一种电缆的结构，同时也表明这种电缆的使用场合、绝缘种类和某些特征。电缆型号中的字母排列一般按照下列顺序：

绝缘种类→线芯材料→内护层→其他结构特点→外护层

例如，ZLQP21 表示纸绝缘的铝芯线，内护层用铅包，无油，双钢带铠装。电缆型号中每个字母的含义见表 3-6。

表 3-6 电力电缆型号中各符号的含义

项目	型 号	含 义	旧符号	项目	型 号	含 义	旧符号
类别	Z	油浸纸绝缘	Z	外护套	02	聚氯乙烯套	—
	V	聚氯乙烯绝缘	V		03	聚乙烯套	1, 11
	YJ	交联聚乙烯绝缘	YJ		20	裸钢带铠装	20, 120
	X	橡皮绝缘	X		21	钢带铠装纤维外被	2, 12
导体	L	铝芯	L		22	钢带铠装聚氯乙烯套	22, 29
	T	铜芯（一般不注）	T		23	钢带铠装聚乙烯套	
内护套	Q	铅包	Q		30	裸细钢丝铠装	30, 130
	L	铝包	L		31	细圆钢丝铠装纤维外被	3, 13
	V	聚氯乙烯护套	V		32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯套	
特征	P	滴干式	P		33	细圆钢丝铠装聚乙烯套	23, 39
	D	不滴流式	D		40	裸粗钢丝铠装	50, 150
	F	分相铅包式	F		41	粗圆钢丝铠装纤维外被	
					42	粗圆钢丝铠装聚氯乙烯套	59, 25
					43	粗圆钢丝铠装聚乙烯套	
					441	双圆钢丝铠装纤维外被	
电力电缆全型号表示例		ZLQ20-10000-3×120 铝芯纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆 额定电压（V） 线芯额定截面（mm <sup>2</sup> ） 三芯					

#### 4. 电缆的敷设

电缆敷设应尽可能选择路径较短的路线,减少弯曲,减少外界因素的影响,散热要好,避免与其他管道的交叉。电缆敷设方式有如下几种类型。

(1) 直接埋地,如图 3-36 所示。这种方法施工简单,电缆散热性能好,但维护检修困难,易受机械损伤、化学腐蚀等,用于埋设根数不多(少于 6 根)的地方。由于投资低,工厂经常采用。

(2) 敷设在混凝土管中,如图 3-37 所示。最常用、最经济的方法是将电缆直接埋地,但当电缆数量较多或容易受到外界损伤的场所,为了避免损坏和减少对地下其他管道的影响,可将电缆敷设在混凝土管中。

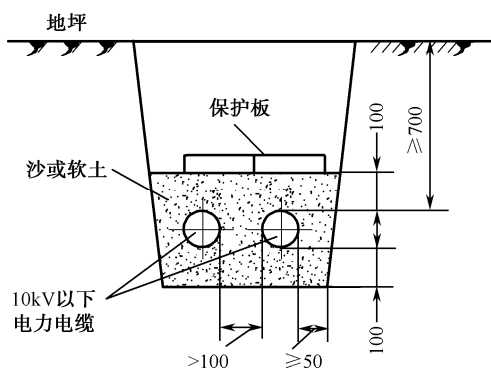


图 3-36 电缆直接埋地

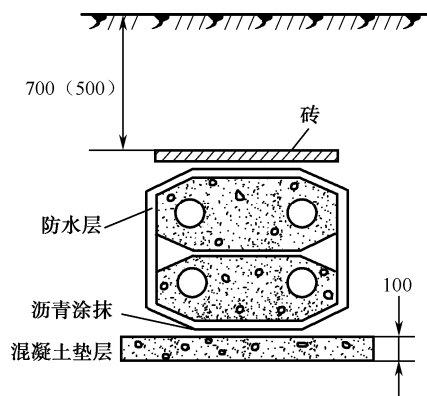
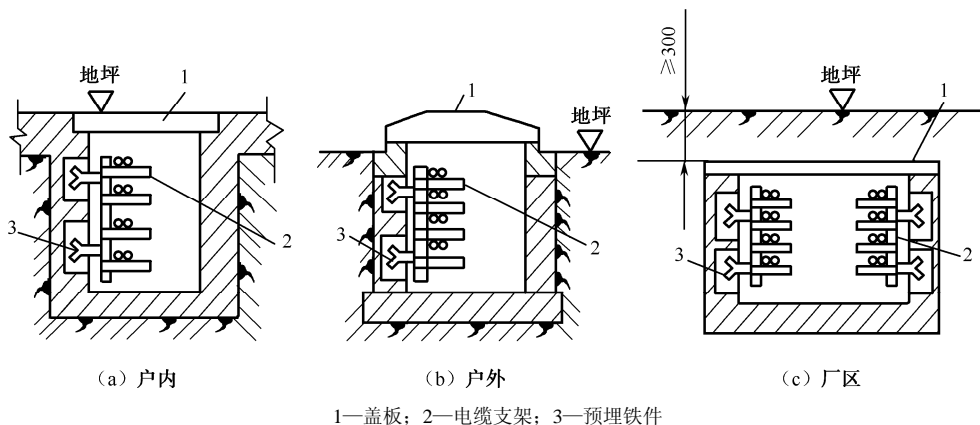


图 3-37 电缆敷设在混凝土管中

(3) 敷设在电缆沟中,如图 4-38 所示。电缆敷设在建设好的水泥沟内,沟顶用混凝土盖板覆盖,这种方法占地少,走向灵活,检修维护较方便,但投资较大。电缆沟分户内电缆沟、户外电缆沟和厂区电缆沟。电缆沿沟壁支架敷设。



1—盖板; 2—电缆支架; 3—预埋铁件

图 3-38 电缆敷设在电缆沟中

(4) 敷设在隧道中。这种方法对电缆的敷设、维护检修、更换均十分方便,但投资很大,除电缆根数很多时用,工厂里一般很少采用。

(5) 电缆桥架敷设。对于车间内线路的敷设,可采用沿墙架设、沿梁架设或电缆管理地敷



设等方式。车间低压配电的线路根数很多，设备分散且经常变动，近年来采用的汇线桥架解决这个问题。汇线桥架使电线、电缆、管缆的敷设更标准，更通用，且结构简单，安装灵活，可任意走向，并且具有绝缘和防腐蚀功能，适用于各种类型的工作环境，使工厂配电线路建造成本大大降低。图 3-39 是组合式汇线桥架空间布置示意图。

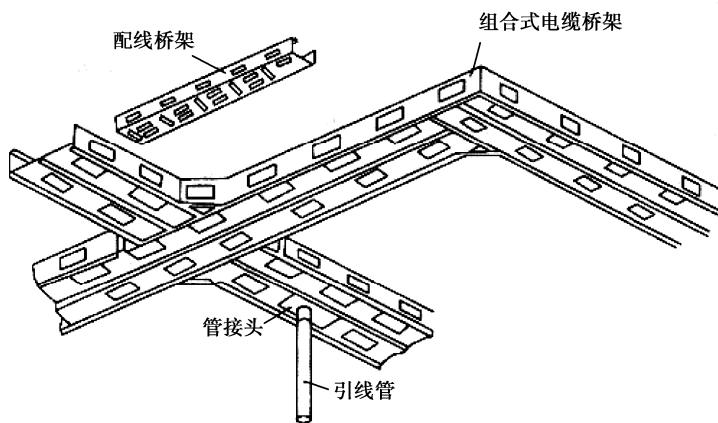


图 3-39 组合式汇线桥架空间布置示意图

#### 5. 电缆敷设时应注意的问题

(1) 为节省投资，敷设电缆最常用的方法是直接埋地法。直埋电缆深不应小于 0.7m，四周用细沙埋设，与地下构筑物距离不小于 0.3m。

(2) 电缆埋设时要保证一定弛度，一般电缆长度比实际线路长 5%~10% 并作为波浪埋设。

(3) 对非铠装电缆在下列地点应穿管保护：电缆引入或引出建筑物或穿过楼板处；当电缆与管道交叉时；从电缆沟引出到电杆或墙外面敷设距地面高 2m 或埋入地下 0.25m 深度一段。

(4) 电缆与热力管道交叉时应有隔热层保护。

(5) 电缆金属外皮及金属电缆支架应可靠接地。

#### 6. 电缆线路的运行维护

保证电缆正常运行要注意以下几个方面：

(1) 塑料电缆不允许浸水。因为塑料电缆一旦被水浸泡后，容易发生绝缘老化现象。

(2) 要经常测量电缆的负荷电流，防止电缆过负荷运行。

(3) 防止受外力损坏。

(4) 防止电缆头套管出现污闪。

要做好电缆线路的运行维护工作，必须了解电缆的敷设方式、结构布置、路径走向及电缆头的位置。电缆线路的运行维护工作包括巡视、负载检测、温度检测、预防腐蚀、绝缘预防性试验等五项。

### 3.2.7 车间内配电线路

车间配电线路所使用的导线多为绝缘线，少数情况下用电缆，也可用母线排或裸导线。

#### 1. 绝缘导线

绝缘导线按线芯材料分，有铜芯和铝芯两种。根据“节约用铜，以铝带铜”的原则，一般应优先采用铝芯导线。但在易燃、易爆或其他有特殊要求的场所应采用铜芯绝缘导线。

绝缘导线按其外皮的绝缘材料分为橡皮和塑料绝缘两种。塑料绝缘导线绝缘性能良好，且价格较低，在户内明敷或穿管敷设时可取代橡皮绝缘导线。但塑料绝缘导线在高温时易软化，在低温时又变硬变脆，故不宜在户外使用。

绝缘导线的敷设方式有明配线和暗配线两种。沿墙壁、天花板、桁架及柱子等敷设导线称为明敷，又称明配线。导线穿管埋设在墙内、地坪内及房屋的顶棚内称为暗敷，又称暗配线。所用的保护管可以是钢管或塑料管，管径的选择按穿入导线连同外皮保护层在内的总截面，不超过管子内孔截面 40% 确定，具体按有关技术规定来选择。穿管敷设也有明敷和暗敷两种。

## 2. 裸导线和封闭型母线

车间内常用的裸导线为 LMY 型硬铝母线。在干燥、无腐蚀性气体的高大厂房内，当工作电流较大时，可常用 LMY 型硬铝母线作载流干线。按规定，裸导线 A、B、C 三相涂漆的颜色分别对应为黄、绿、红三色，N 线或 PEN 线为淡蓝色，PE 线为黄绿双色。

车间内吊车滑触线通常采用角钢，但新型安全滑触线的载流导体则为铜排，且外面有保护罩。

车间配电线路中还有一种封闭型母线（插接式母线），适用于设备布置均匀紧凑而又需要经常调整位置的场合。

## 3. 车间电力线路敷设的安全要求

为了使车间电力线路布局合理，整齐美观，安装牢固，操作、维修方便，能够安全可靠地输送电能，应注意以下事项：

（1）离地面 3.5m 以下的电力线路应采用绝缘导线，离地面 3.5m 以上的允许采用裸导线。

（2）离地面 2m 以下的导线必须加机械保护，例如，穿钢管或穿硬塑料管保护。钢管的机械强度高，散热好，且钢管可当保护线用，应用广泛。穿钢管的交流回路，应同一回路的三相导线或单相的两根导线穿于同一钢管内，否则导线的合成磁场不为零，管壁上存在交变磁场，产生铁损，使钢管发热。硬塑料管耐腐蚀，但机械强度低，散热低，散热差，一般用于有腐蚀性物质的场所。

（3）根据机械强度的要求，绝缘导线的线芯截面不应小于表 3-7 中所列数值。

表 3-7 绝缘导线的线芯的最小截面面积

导线用途或敷设方式			线芯最小截面/mm <sup>2</sup>	
			铜    芯	铝    芯
照明用灯头引下线			1.0	2.5
敷设在绝缘支持件上的绝缘导线，其支持点间距 $L$	室内	$L\leq 2\text{m}$	1.0	2.5
	室外	$L\leq 2\text{m}$	1.5	2.5
		$2\text{m}\leq L\leq 6\text{m}$	2.5	4
		$6\text{m}\leq L\leq 16\text{m}$	4	6
		$16\text{m}\leq L\leq 25\text{m}$	6	1.0
穿管敷设的绝缘导线，沿墙明敷的塑料护套线，板孔穿线敷设的绝缘线			1.0	2.5
PE 线和 PEN 线	有机机械保护时		2.5	2.5
	无机机械保护时		4（干线 10）	4（干线 16）

（4）为了确保安全用电，车间内部的电气管线和配电装置与其他管线设备间的最小距离应

符合要求。

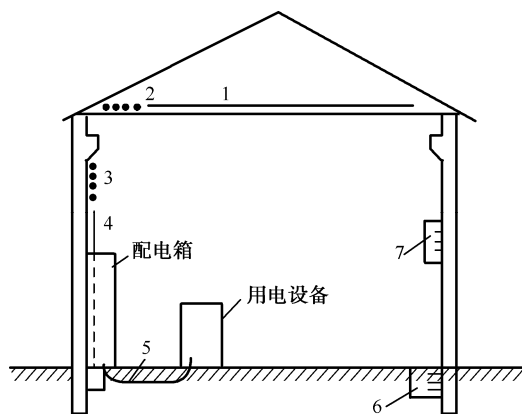
(5) 车间照明线路每一单相回路的电流不应超过 15A。除花灯和壁灯等线路外，一个回路灯头和插座总数不超过 25 个。当照明灯具的负载超过 30A 时，应用 380/220V 的三相四线制供电。

(6) 对于工作照明回路，在一般环境的厂房内穿管配线时，一根管内导线的总根数不得超过 6 根，而有爆炸、火灾危险的厂房内不得超过 4 根。

#### 4. 车间电力线路常用的敷设方式

图 3-40 表示了几种常用的车间电力线路敷设方式示意图。

此外，如果车间电力线路采用电缆，则应采用相应的电缆敷设方式，如图 3-39 所示的电缆桥架。



1—沿屋架横向明敷；2—跨屋架纵向明敷；3—沿墙或沿柱明敷；4—穿管明敷；5—地下穿管暗敷；  
6—地沟内敷设；7—封闭式母线（插接式母线）

图 3-40 车间电力线路敷设方式示意图

#### 5. 车间动力电气平面布线图

车间动力电气平面布线图表示供电系统对车间动力设备配电的电气平面布线图。它反映动力线路的敷设位置、敷设方式、导线穿管种类、线管管径、导线截面及导线根数，同时还反映各种电气设备及用电设备的安装数量、型号及相对位置。

在平面图上，导线和设备通常采用图形符号表示，导线及设备间的垂直距离和空间位置一般标注安装标高。表 3-7 所示为电力设备的标注方法，表 3-8 所示为电力线路敷设方式的文字代号，表 3-9 所示为电力线路敷设部位的文字代号。

图 3-41 是某机械加工车间（局部）的动力电气平面布线图。从图中可以看出，配电箱 NO.5 型号是 XL-21，其电源引入导线的型号是 BLV-500-(3×25+1×16)-G40-DA，即铝芯塑料绝缘导线，额定工作电压为 500V，截面为 (3×25+1×16) mm<sup>2</sup>，穿管径 40mm 的钢管沿地板暗敷。

表 3-8 电力设备的标注方法

设备名称	标注方法	说明
用电设备	$\frac{a}{b}$	$a$ —设备编号 $b$ —设备功率（单位为 kW）

续表

设备名称	标注方法	说明
配电设备	一般标注方法： $a \frac{b}{c}$ $a-b-c$ 标注引入线规格时： $a \frac{b-c}{d(e \times f)-g}$	$a$ —设备编号 $b$ —设备型号 $c$ —设备功率（单位为 kW） $d$ —导线型号 $e$ —导线根数 $f$ —导线截面（单位为 mm <sup>2</sup> ） $g$ —导线敷设方式及部位
开关及熔断器	一般标注方法： $a \frac{b}{c/i}$	$a$ —设备编号 $b$ —设备型号 $c$ —额定电流（单位为 A）
开关及熔断器	$a-b-c/i$ 标注引入线规格时： $a \frac{b-c/i}{d(e \times f)-g}$	$i$ —整定电流（单位为 A） $d$ —导线型号 $e$ —导线根数 $f$ —导线截面（单位为 mm <sup>2</sup> ） $g$ —导线敷设方式

表 3-9 电力线路敷设方式的文字代号

敷 设 方 式	代 号	敷 设 方 式	代 号
明敷	M	用卡钉敷设	QD
暗敷	A	用槽板敷设	CB
用钢索敷设	S	穿焊接钢管敷设	G
用瓷瓶或瓷珠敷设	CP	穿电线管敷设	DG
瓷夹板或瓷卡敷设	CJ	穿塑料管敷设	VG

表 3-10 电力线路敷设部位的文字代号

敷 设 部 位	代 号	敷 设 部 位	代 号
沿梁下弦	L	沿天花板（顶棚）	P
沿柱	Z	沿地板	D
沿墙	Q		

图 3-41 中 No.6 为照明配电箱，其电源来自配电箱 No.5。

35～42 号用电设备由 No.5 配电箱供电。从配电箱到各用电设备的导线型号、截面及敷设方式相同，已在图中说明。

图 3-41 仅为车间动力线路平面布线图的一种表示方法。当设备台数较少时，可在平面布线图上详细标出干线、配电箱及所供电的用电设备的型号、规格及设备的额定容量。

6. 车间照明供电方式

为了保证照明的质量，通常照明线路与动力线路是分开的。如果照明与动力合用一条线路，则往往由于动力设备的启动，使线路电压波动很大，严重影响照明装置的正常工作。事故照明也应与工作照明分开线路供电。为了提高事故照明供电的可靠性，可采用事故照明与邻

近变电所低压母线相连等方式取得备用电源。具体是采用一台变压器还是两台变压器供电的设有事故照明的照明系统接线备用电源。特别是重要的工厂场所，应采用独立电源对事故照明供电等到项目 5 工厂电气照明的内容中进行详细介绍。

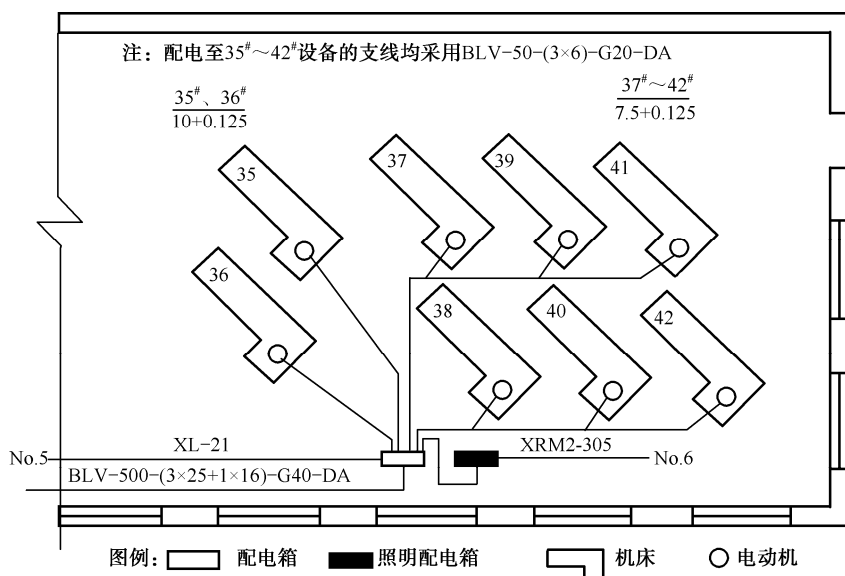


图 3-41 某机械加工车间（局部）动力电气平面布线图

### 3.2.8 车间配电线路的运行维护

1. 对车间配电线路，一般要求每周巡视检查一次，主要注意的问题

- (1) 用钳表检查线路的负荷情况有无过载。
- (2) 检查配电箱、分线盒、开关、熔断器、母线槽及接地、接零等装置的运行情况，接线有无松脱、放电、螺栓是否坚固，母线接头有无氧化和腐蚀现象。
- (3) 检查线路上和线路周围有无影响线路安全运行的异常情况。
- (4) 对敷设在潮湿、有腐蚀性物质的场所的线路和设备，要作定期的绝缘检查，绝缘电阻一般不低于  $0.5M\Omega$ 。

2. 线路运行时突然停电的处理

工厂供电线路及车间内配电线路，在运行中发生突然停电，可按不同情况分别处理。

(1) 当进线没有电压时，说明是电力系统方面暂时停电。这时总开关不必拉开，但出线开关应全部拉开，以免突然来电时，用电设备同时启动，造成过负荷和电压骤降，影响供电系统的正常运行。

(2) 当两条进线中的一条进线停电时，应立即进行切换操作，将负荷（特别是其中重要负荷）转移给另一条进线供电。

(3) 厂内配电线路发生故障使开关跳闸时，可试合一次（如果开关的断流容量允许），争取尽快恢复供电。由于多数故障属暂时性的，试合可能成功。如果试合失败，开关再次跳闸，说明线路上故障尚未消除，这时应该对线路进行停电检修。

(4) 车间线路在使用中发生故障时，首先向用电人员了解故障情况，找出原因。故障检查时，先查看用电设备是否损坏及熔断器中的熔丝是否烧断。然后逐级检查线路，一般方法如下：

① 熔丝未烧断，一般是断电故障。用试电笔测试电源端，氖泡不亮表示电源无电，说明是上一级的线路或开关出了故障，应检查上一级线路或开关；也可能是电源中断供电，此时等待供电恢复。用试电笔试电源端，氖泡发亮表示电源有电，说明是本熔断器以下的故障。如果用电设备未损坏（如灯丝完好未断），这就可能是导线接头松脱，导线与用电设备连接处松脱，导线线芯被碰断或拉断等，应逐级检查，寻找故障点。

② 熔丝已烧断，一般是短路故障。多数故障可能是用电设备损坏，发生碰线或接地等事故（如灯座内短路），应先对于用电设备进行检查，发现用电设备的故障并修复后，便可继续供电使用。经检查用电设备如无短路点，那就是线路本身有短路点，这时应逐段检查导线有无因绝缘层老化和碰伤而发生相间短路或接地短路，然后采取措施恢复绝缘或更换导线。

## 实操训练6 变配电所的送电与停电操作

### 1. 线路送电和停电的操作顺序

变配电所对线路送电时，其操作顺序：拉开线路各端接地闸刀开关或拆除接地线，先合母线侧隔离开关或刀开关，再合线路侧隔离开关或刀开关，最后合高、低压断路器。

变配电所对线路停电时，其操作顺序：拉开线路两端开关，拉开线路侧闸刀开关，拉开母线侧闸刀开关，在线路上可能来电的各端合上接地闸刀或挂接地线。

### 2. 送电与停电操作的注意事项

- (1) 切勿空载时让末端电压升高至允许值以上。
- (2) 投入或切除线路时，勿使电网电压产生过大波动。
- (3) 勿使发电机在无负荷情况下投入空载线路而产生自励磁。

### 3. 变配电所主变压器停送电的操作顺序规定

变配电所中的主变停送电的操作顺序：停电时，一般从负荷侧的开关拉起，依次拉到电源侧的开关，而且一定要按照先拉高、低压断路器，然后拉开线路侧隔离开关，最后拉开电源侧隔离开关的操作顺序进行断电操作。送电时，则要按照先送电源侧，后送负荷侧的逆过程操作。这种操作顺序规定的原因如下：

(1) 从电源侧逐级向负荷侧送电时，如有故障，便于确定故障范围，及时作出判断和处理，以免故障扩大。

(2) 多电源情况下，若先停负荷，则可以防止变压器反充电。如果先停电源侧，遇有故障可能会造成保护装置的误操作或拒动，延长故障切除时间，并可能扩大故障范围。

(3) 当负荷侧母线电压互感器带有低周减荷装置，而未装电流闭锁时，一旦先停电源侧开关，由于大型同步电动机的反馈，可能使低周减荷装置产生误动作。

## 3.2.9 问题与思考

### 一、填空题

1. 工厂高低压配电线路的接线方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三种类型。
2. 变压器—干线式接线方式是由\_\_\_\_\_的二次侧引出线经过\_\_\_\_\_直接引至车间内的干线上，然后由干线引出\_\_\_\_\_配电。

3. 电杆是支持\_\_\_\_\_的支柱, 根据电杆在线路中的作用, 可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。
4. 同一线路上两相邻电杆的水平距离称为\_\_\_\_\_, 又称\_\_\_\_\_. 弧垂是指在一个\_\_\_\_\_导线在电杆上的悬挂点与导线最低点与导线间的\_\_\_\_\_距离。
5. 车间线路绝缘导线的敷设方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
6. 某车间电气平面布线图上, 某一路旁标注有 BLV-500-(3×50+1×25)-VG65-DA, 这些符号表示\_\_\_\_\_。
7. 某车间某线路采用额定电压 500V 的塑料绝缘铝芯线, 穿钢管沿墙暗敷, 线路采用 TN-C 系统, 相线截面  $50\text{mm}^2$ , 零线截面  $25\text{mm}^2$ , 穿钢管径 40mm。试写出其表示标号: \_\_\_\_\_。

## 二、判断题 (正确的打√, 错误的打×)

8. 工厂高压放射式接线是指由工厂变配电所高压母线上引出单独线路, 直接供电给高压用电设备, 在该线路上不再分接其他高压用电设备。 ( )
9. 采用高压树干式接线配电时, 一般干线上连接的车间变电所不得超过 3 个。 ( )
10. 环形供电方式一般采用开环运行方式。 ( )
11. 架空线一般采用绝缘线。 ( )
12. 工厂架空线路上常用的绝缘子表面都做成波纹状, 这样能够起到阻断电弧的作用。 ( )
13. 为了防止热胀冷缩, 架空线路的弧垂尽量要大些。 ( )
14. 车间内敷设的导线多采用绝缘导线。 ( )
15. 放射式供电比树干式供电可靠性大。 ( )
16. 架空线一般采用的是 TJ (铜绞线)。 ( )
17. 裸导线 A、B、C 三相涂漆的颜色分别对应为黄、红、绿三色。 ( )
18. 采用钢管穿线时不能分相穿管。 ( )

## 三、选择题

19. 35kV 及以上的架空线路, 多采用 ( ) 型线。  
A. LJ                      B. LGJ                      C. TJ                      D. BLX
20. 不需要使用拉线的电杆有 ( )。  
A. 直线杆                      B. 耐张杆                      C. 终端杆                      D. 转角杆  
E. 分支杆
21. 高压与高压线路同杆架设时, 直线横担间垂直距离不小于 ( )。高压与低压线路同杆架设时, 直线横担间垂直距离不小于 ( )。  
A. 0.6m                      B. 0.8m                      C. 1.0m                      D. 1.2m
22. 车间配电时, 离地面 ( ) 以上的线路允许采用裸导线, 离地面 ( ) 以下的导线必须加装机械防护。  
A. 2m                      B. 2.5m                      C. 3m                      D. 3.5m
23. 车间变电所配电采用放射式接线多用于 ( ), 采用树干式接线多用于 ( )。  
A. 用电设备数量多, 负荷分布均匀  
B. 用电设备容量大, 负荷分布较集中  
C. 用电设备容量大, 负荷分布在车间不同方向

D. 用电设备容量小, 负荷分布均匀

E. 用电设备容量小, 距离近

#### 四、技能题

24. 工厂发生突然停电事故, 变配电所值班人员应如何处理?

25. 调查一家小型企业的车间供配电情况, 并画出其车间电力平面布线图。



## 项目4 二次系统的调试与运行维护

### 【教学目标】

通过本项目学习能够了解二次回路中的直流操作电源和交流操作电源的类型和作用;熟悉二次回路的类型,学会对二次回路进行接线和检测,能监视二次回路的工作状态;能分析断路器控制回路的工作原理,会对断路器进行手动合闸和跳闸操作;理解中央信号装置、电气测量仪表与绝缘监视装置的工作原理。

### 【项目描述】

供配电系统中,对一次设备进行检测、控制、调节和保护电气回路称为二次回路或二次接线系统。供配电系统的二次回路是实现供配电系统安全、经济、稳定运行的重要保障。随着变电所自动化水平的提高,二次回路将起到越来越大的作用。供配电系统中的二次回路是以二次回路接线图绘制出来的,它为现场技术工作人员对电气设备的安装、调试、检修、试验、查线等提供了重要的技术资料。

### 任务1 二次回路的分析与监测

#### 【任务描述】

通过任务学习能够了解供配电系统二次回路的原理图、展开图与安装接线图,操作电源、掌握电测仪表与绝缘监视,继电器控制回路信号系统。

#### 【知识链接】

#### 4.1.1 供配电系统的二次回路

二次回路又称二次系统,用来反映一次系统的工作状态和控制、调整一次设备。当一次系统发生事故时,能够立即动作,使故障部分退出运行。二次回路按功能分,可分为断路器控制回路、信号回路、保护回路、监测回路和自动化回路,为保证二次回路的用电,还有相应的操作电源回路等。图4-1为供配电系统的二次回路功能示意图。

变电所的二次设备包括测量仪表、控制与信号回路、继电保护装置及远动装置等。这些设备通常由电流互感器、电压互感器、蓄电池组成,采用低压供电,它们相互间连接的电路称为二次回路或二次接线。二次回路按照功用可分为控制回路、合闸回路、信号回路、测量回路、保护回路及远动装置回路等;按照电路类别分为直流回路、交流回路和电压回路。

反映二次接线间关系的图称为二次回路图。二次回路的接线图按用途可分为原理接线图、展开接线图和安装接线图三种形式。

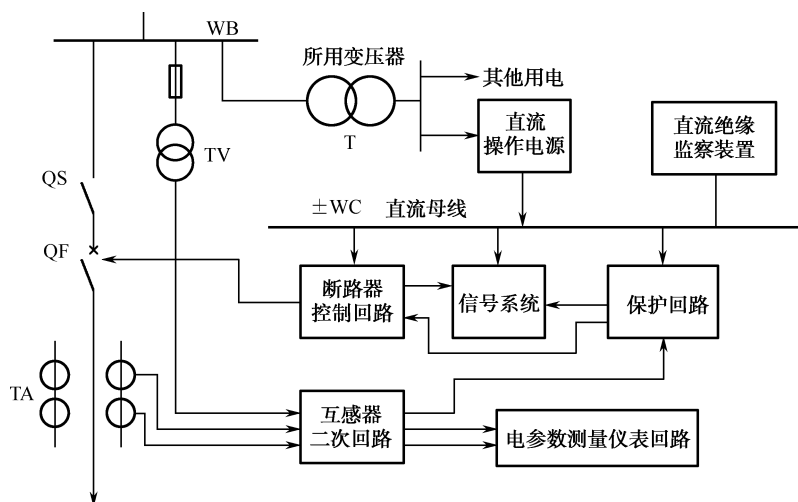


图 4-1 供配电系统的二次回路功能示意图

### 1. 原理接线图

原理接线图用来表示继电保护、监视测量和自动装置等二次设备或系统的工作原理，它以元件的整体形式表示各二次设备的电气连接关系。通常在二次回路的接线原理图上还将相应的一次设备画出，构成整个回路，便于了解各设备间的相互工作关系和工作原理。图 4-2（a）是 6~10kV 线路的测量回路接线原理图。

从图中可以看出，原理图概括地反映了过电流保护装置、测量仪表的接线原理及相互关系，但不注明设备内部接线和具体的外部接线，对于复杂的回路难以分析和找出问题，因而仅有原理图还不能对二次回路进行检查维修和安装配线。

### 2. 展开接线图

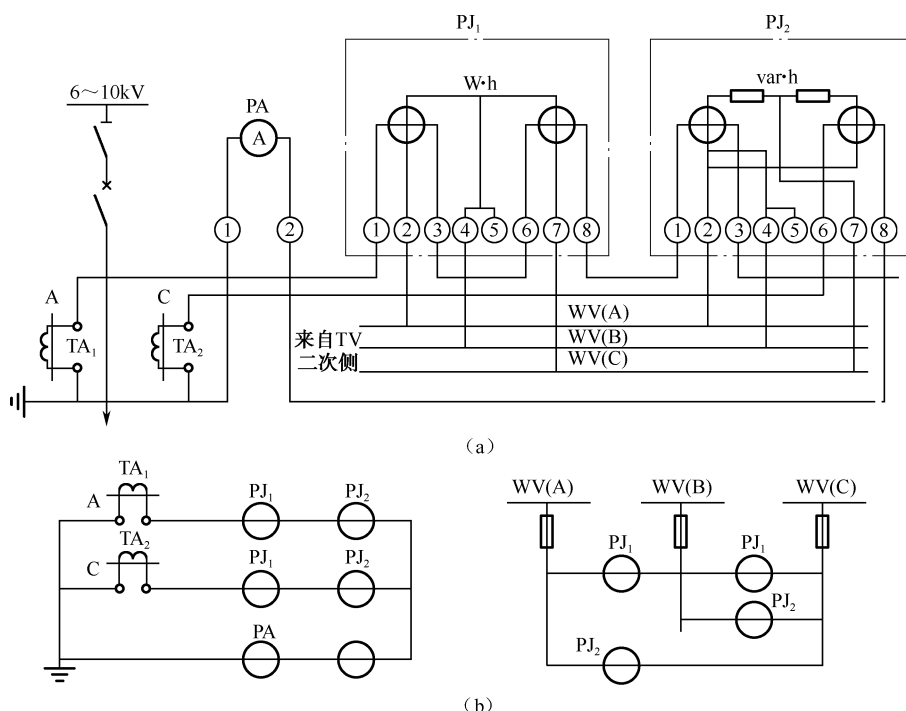
展开图按二次接线使用的电源分别画出各自的交流电流回路、交流电压回路、操作电源回路中各元件的线圈和触点。所以，属于同一个设备或元件的电流线圈、电压线圈、控制触点应分别画在不同的回路里。为了避免混淆，对同一设备的不同线圈和触点应用相同的文字标号，但各支路需要标上不同的数字回路标号，如图 4-2（b）所示。

二次接展开图中所有开关电器和继电器触点都是按开关断开时的位置和继电器线圈中无电流时的状态绘制。由图 4-2（b）可见，展开图接线清晰，回路程序明显，易于阅读，便于了解整套装置的动作程序和工作原理，对于复杂线路的工作原理的分析更为方便。

### 3. 安装接线图

安装接线图是进行现场施工不可缺少的图纸，是制作和向厂家加工订货的依据。它反映的是二次回路中各电气元件的安装位置、内部接线及元件间的线路关系。

二次接线安装图包括屏面元件布置图、屏背面接线图和端子板接线图等几个部分。屏面元件布置图是按照一定的比例尺寸将尺寸将屏面上各个元件合仪表的排列位置及其相互间距离尺寸表示在图样上。而外形尺寸应尽量参照国家标准屏柜尺寸，以便和其他控制屏并列时美观整齐。



TA<sub>1</sub>、TA<sub>2</sub>—电流互感器；TV—电压互感器；PA—电流表；  
PJ<sub>1</sub>—三相有功电度表；PJ<sub>2</sub>—三相无功电度表；WV—电压小母线

图 4-2 6~10kV 高压线路电气测量仪表原理接线图和展开接线图

#### 4. 二次接线图中的标志方法

为便于安装施工和投入运行后的检修维护，在展开图中应对回路进行编号，在安装图中对设备进行标志。

(1) 展开图中回路编号。对展开图进行编号可以方便维修人员进行检查及正确连接，根据展开图中回路的不同，如电流、电压、交流、直流等，回路的编号也进行相应的分类。具体进行编号的原则如下：

① 回路的编号由 3 个或 3 个以上的数字构成。对交流回路要加注 A、B、C、N 符号区分，对不同用途的回路都规定了编号的数字范围，各回路的编号要在相应的数字范围内。

② 二次回路的编号应根据等电位原则进行，即在电气回路中，连接在一起的导线属于同一电位，应采用同一编号。如果回路经继电器线圈或开关触点等隔离开，应视为两端不再是等电位，要进行不同的编号。

③ 展开图中小母线用粗线条表示，并按规定标注文字符号或数字编号。

(2) 安装图设备的标志编号。二次回路中的设备都是从属于某些一次设备或一次线路的，为了对不同回路的二次设备加以区别，避免混淆，所有的二次设备必须标以规定的项目种类代号。例如，某高压线路的测量仪表，本身的种类代号为 P。现有有功功率表、无功功率表和电流表，它们的代号分别为 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>。而这些仪表又属从属于某一线路，线路的种类代号为 W<sub>6</sub>，设无功功率表 P<sub>3</sub> 是属于线路 W<sub>6</sub> 上使用的，由此无功功率表的项目种类代号全称应为“-W<sub>6</sub>-P<sub>3</sub>”，这里的“-”是种类的前缀符号。又设这条线路 W<sub>6</sub> 又是 8 号开关柜内的线路，而开关柜的种类代号规定为 A，因此，该无功功率表的项目种类代号全称为“=A-W<sub>6</sub>-P<sub>3</sub>”。这里

的“=”号是高层的前缀符号，高层是指系统或设备中较高层次的项目。

(3) 接线端子的标志编号。端子排是由专门的接线端子板组合而成的，是连接配电柜之间或配电柜与外部设备的。接线端子分为普通端子、连接端子、试验端子和终端端子等形式。

试验端子用来在不断开二次回路的情况下，对仪表、继电器进行试验。终端端子板则用来固定或分隔不同安装项目的端子排。

在接线图中，端子排中各种类型端子板的符号如图 4-3 所示。端子板的文字符号为 X，端子的前缀符号为“:”。按规定，接线图上端子的代号应与设备上端子标记一致。

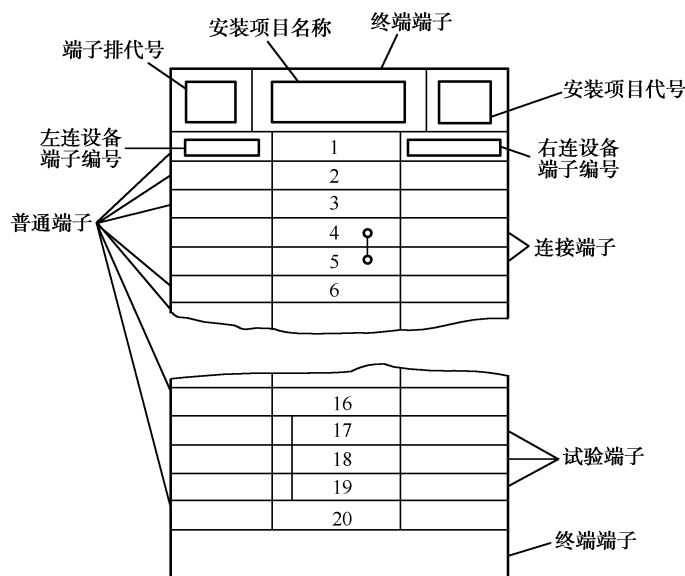


图 4-3 端子排标志图例

(4) 连接导线的表示方法。接线图上端子之间的连接导线有两种表示方法。

① 连续线表示法。表示两端子之间连接导线的线条是连续的，如图 4-4 (a) 所示。

安装接线图既要表示各设备的安装位置，又要表示各设备间的连接，如果直接绘出这些连接线，将使图纸时的线条难以辨认，因而一般在安装图上表示导线的连接关系时，只在各设备的端子处标明导线的去向。

② 中断线表示法。表示两端子之间连接导线的线条是中断的，如图 4-4 (b) 所示。在线条中断处必须标明导线的去向，即在接线端子出线处标明对方端子的项目代号，这种表示方法，称为“相对标号法”或“对面标号法”。

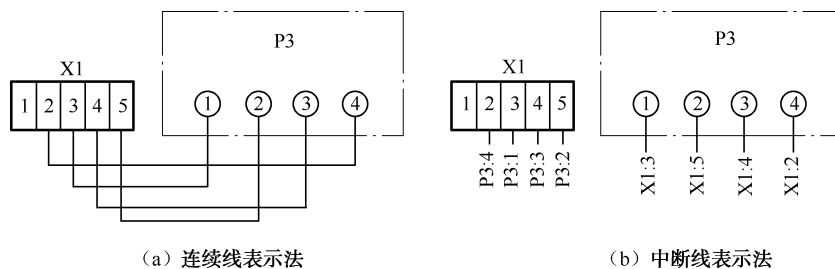


图 4-4 端子间连接导线的表示方法

## 5. 二次回路图的阅读方法

二次回路在绘制时遵循着一定的规律,看图时首先应清楚电路图的工作原理、功能及图纸上所标符号代表的设备名称,然后再看图纸。

(1) 看图的基本要领。

- ① 先交流,后直流。
- ② 交流看电源,直流找线圈。
- ③ 查找继电器的线圈和相应触点,分析其逻辑关系。
- ④ 先上后下,先左后右,针对端子排图和屏后安装图看图。

(2) 阅读展开图基本要领。

- ① 直流母线或交流电压母线用粗线条表示,以区别于其他回路的联络线。
- ② 继电器和每一个小的逻辑回路的作用都在展开图的右侧注明。
- ③ 展开图中各元件用国家统一的标准图形符号和文字符号表示,继电器和各种电气元件的文字符号与相应原理图中的方案符号应一致。
- ④ 继电器的触点和电气元件之间的连接线段都有数字编号(回路编号),便于了解该回路的用途和性质,以及根据标号能进行正确连接,以便安装、施工、运行和检修。
- ⑤ 同一个继电器的文字符号与其本身触点的文字符号相同。
- ⑥ 各种小母线和辅助小母线都有标号,便于了解该回路的性质。
- ⑦ 对于展开图中个别继电器,或该继电器的触点在另一张图中表示,或在其他安装到位中有表示,都在图上说明去向,并用虚线将其框起来,对任何引进触点或回路也要说明来处。
- ⑧ 直流回路正极按奇数顺序标号,负极按偶数顺序编号。回路经过元件时其标号也随之改变。
- ⑨ 常用的回路都是固定编号,如断路器的跳闸回路是 33,合闸回路是 3 等。
- ⑩ 交流回路的标号除用三位数外,前面加注文字符号,交流电流回路使用的数字范围是 400~599,电压回路为 600~799,其中个位数字表示不同的回路,十位数字表示互感器的组数。回路使用的标号组要与互感器文字符号前的“数字序号”相对应。

### 4.1.2 二次回路的操作电源

二次回路按电源性质分,有直流回路和交流回路。交流回路又分为交流电流回路和交流电压回路。交流电流回路由电流互感器供电,交流电压回路由电压互感器供电。

二次回路按其用途分,有断路器控制(操作)回路、信号回路、测量和监视回路、继电保护和自动装置回路等。

二次回路在供电系统中虽是其一次电路的辅助系统,但它对一次电路的安全、可靠、优质、经济地运行有着十分重要的作用,因此,必须予以充分的重视。

二次回路的操作电源是供高压断路器分、合闸回路和继电器保护和自动装置、信号回路、监测系统及其他二次回路所需的电源。因此,对操作电源的可靠性要求很高,容量要求足够大,尽可能不受供电系统运行的影响。

二次回路操作电源,分为直流和交流两大类。直流操作电源有由蓄电池供电的电源和由整流装置供电的电源两种。交流操作电源有由所用(站用)变压器供电的和通过仪用互感器供电的两种。

## 1. 直流操作电源

### 1) 蓄电池组供电的直流操作电源

蓄电池组供电的直流操作电源是一种与电力系统运行方式无关的独立电源系统。即使在变电所完全停电的情况下,仍能在2h内可靠供电,具有很高的供电可靠性。蓄电池直流操作电源类型主要有铅酸蓄电池和镉镍蓄电池两种。

(1) 铅酸蓄电池组。单个铅酸蓄电池的额定端电压为2V,充电后可达2.7V,放电后可降到1.95V。为满足220V的操作电压,需要 $230/1.95 \approx 118$ 个,考虑到充电后端电压升高,为保证直流系统正常电压,长期接入操作电源母线的蓄电池个数为 $230/2.7 \approx 88$ 个,而 $118-88=30$ 个蓄电池用于调节电压,接于专门的调节开关上。

蓄电池使用一段时间后,电压下降,需用专门的充电装置进行充电。由于铅酸蓄电池具有一定的危险性和污染性,需要专门的蓄电池室放置,投资大。因此,在变电所中现已不予采用。

(2) 镉镍蓄电池组。近年来我国发展的镉镍蓄电池克服了上述铅酸蓄电池的缺点,其单个端电压为1.2V,充电后可达1.75V,其充电可采用浮充电或强充电方式由硅整流设备进行充电,其容量范围可以从几毫安到上千安,满足各种不同的使用要求,除不受供电系统运行情况的影响、工作可靠外,还有大电流放电性能好、腐蚀性小、功率大、机械强度高、使用寿命长等优点,无须专用房间来装设,可安装于控制室,因此,占地面积小且便于安装维修,在大中型变电所中应用比较广泛。

### 2) 硅整流电容储能式直流电源

硅整流电容储能式直流电源在变电所应用比较普遍,一般可分为电容储能直流操作电源和复式整流的直流操作电源。本任务只介绍如图4-5所示的硅整流电容储能直流操作电源。

硅整流的电源来自变配电所用变压器母线,一般设一路电源进线,但为了保证直流操作电源的可靠性,可以采用两路电源和两台硅整流装置。硅整流器 $U_1$ 主要用作断路器合闸电源,并可向控制、信号和保护回路供电,其容量较大。硅整流器 $U_2$ 的容量较小,仅向控制、信号和保护回路供电。逆止元件 $VD_1$ 和 $VD_2$ 的作用:一是当直流电源电压因交流供电系统电压降低而降低时,使储能电容 $C_1$ 、 $C_2$ 所储能量仅用于补偿自身所在的保护回路,而不向其他元件放电。二是限制 $C_1$ 、 $C_2$ 向断路器的控制回路中的信号灯和重合闸继电器等放电,以保证其所供的继电保护合并跳闸线圈可靠动作。逆止元件 $VD_3$ 和限流电阻 $R$ 接在两组直流母线之间,使直流合闸母线只向控制小母线WC供电。 $R$ 用来限制控制回路短路时通过 $VD_3$ 的电流,以免 $VD_3$ 烧毁。储能电容器 $C_1$ 用于对高压线路的继电保护和跳闸回路供电;储能电容器 $C_2$ 用于对其他元件的继电保护和跳闸回路供电。储能电容器多采用容量大的电解电容器,其容量应能保证继电保护和跳闸线圈可靠动作。

在直流母线上还接有直流绝缘监测装置和闪光装置,绝缘监测装置采用电桥结构,用于监测正负母线或直流回路对地绝缘电阻,当某一母线对地绝缘电阻降低时,电桥不平衡,检测继电器中有足够的电流流过,继电器动作发出信号。闪光装置主要提供灯光闪光电源,其工作原理示意图如图4-6所示。

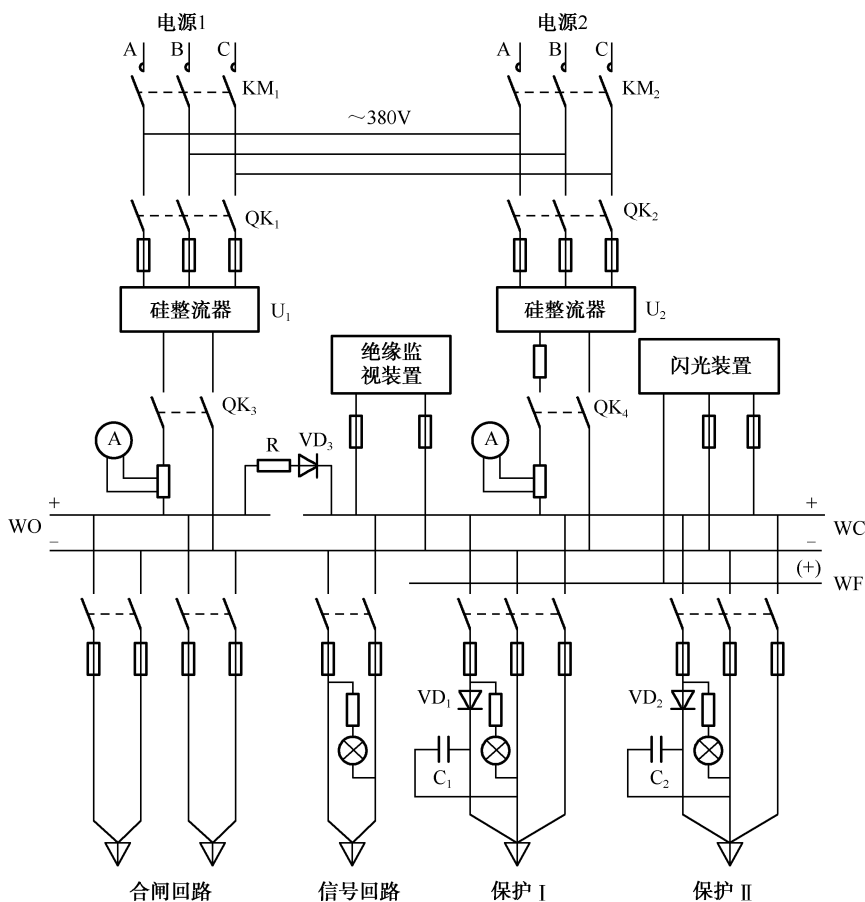


图 4-5 硅整流电容储能直流操作电源

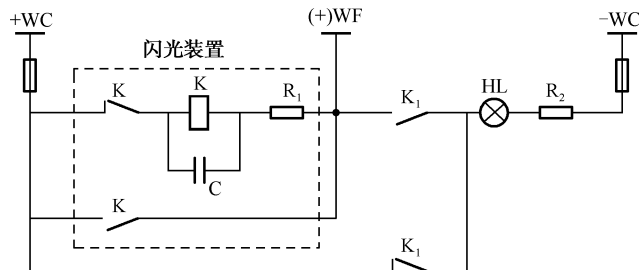


图 4-6 闪光装置工作原理示意图

在正常工作时闪光小母线+WF 悬空，当系统或二次回路发生故障时，相应继电器  $K_1$  动作（其线圈在其他回路中）， $K_1$  常闭触点打开。 $K_1$  常开触点闭合，使信号灯 HL 接于闪光小母线上，(+)WF 的电压较低，HL 变暗。闪光装置电容充电，充到一定值后，继电器 K 动作，其常开触点闭合，使闪光小母线的电压与正母线相同，HL 变亮。常闭触点 K 打开，电容放电，使 K 电压降低。降低到一定值后，K “失电” 动作，常开触点 K 打开，闪光小母线电压变低，闪光装置的电容又开始充电。重复上述过程。信号指示灯就发出闪光信号。可见，闪光小母线平时不带电，只有在闪光装置工作时，才间断地获得低电位，其间隔时间由电容的充放电时间决定。

硅整流直流操作电源的优点是价格便宜，与铅酸蓄电池比较占地面积小、维护工作量小、体积小、不需要充电装置。其缺点是电源独立性差，电源的可靠性受交流电源影响，需加装补

偿电容和交流电源自动投切装置，而且二次回路复杂。

实用中，还有一种复式硅整流操作电源，这种电源有两部分供电：一是由变压器或电压互感器供电；二是由反映故障电流的电流互感器电流源供电。两组电源都经铁磁式谐振稳压器供电给二次回路。由于复式硅整流直流操作电源有电压源和电流源，因此，能保证交流供电系统在正常或故障情况下均能正常地供电。与电容储能式相比，复式硅整流直流操作电源能输出较大的功率，电压的稳定性也较好，广泛应用于具有单电源的中、小型工厂变配电所。

## 2. 交流操作电源

交流操作电源可取自所用变压器的电压侧，这是一种较为普遍的应用方式。当交流操作电源取自电压互感器的二次侧时，其容量较小，一般只作为油浸式瓦斯保护的交流操作电源；当取自于电流互感器时，主要供电给继电保护和跳闸回路。电流互感器对于短路故障和过负荷都非常灵敏，能有效实现交流操作电源的过电流保护。

### 1) 取自变配电所用主变压器的交流操作电源

变配电所的用电一般应设置专门的变压器供电，简称所用变。变配电所的用电主要有室外照明、室内照明、生活区用电、事故照明、操作电源用电等，上述用电一般都分为设置供电回路，如图 4-7 (a) 所示。

为保证操作电源的用电可靠性，所用变一般都接在电源的进线处，如图 4-7 (b) 所示。即使变电所母线或变压器发生故障时，所用变仍能取得电源。一般情况下，采用一台所用变即可，但对一些重要的变电所，要求有可靠的所用电源，此电源不仅在正常情况下能保证供电给操作电源，而且应考虑在全所停电或所用电源发生故障时，仍能实现对电源进线断路器的操作和事故照明的用电，一般应设有两台互为备用的所用变。其中一台所用变应接至进线断路器的外侧电源进线处，另一台则应接至与本不打算无直接联系的备用电源上。在所用变低压侧可采用备用电源自动投入装置，以确保所用电的可靠性。

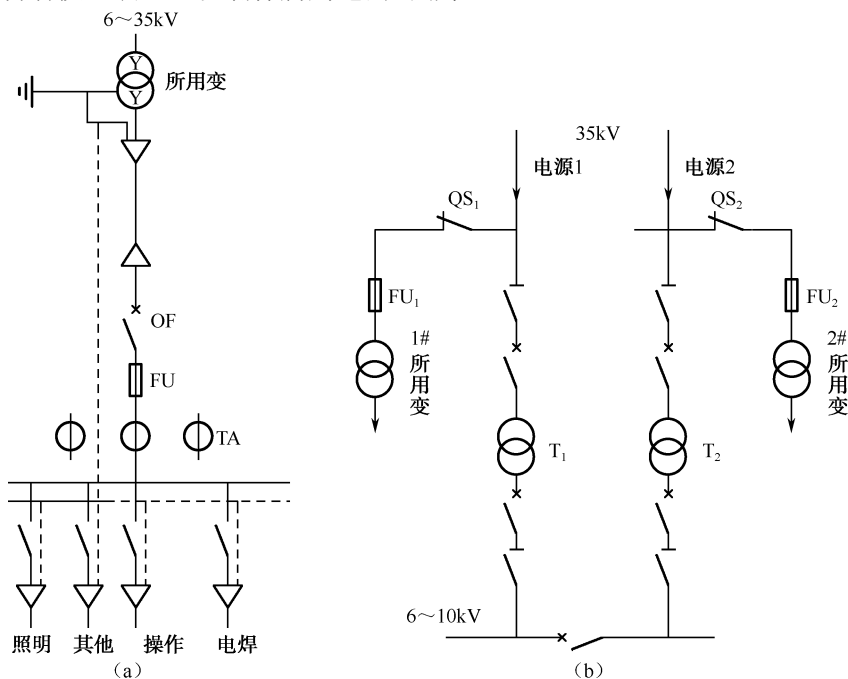


图 4-7 所用变接线示意图



## 2) 交流操作电源供电的继电保护装置

(1) 直流动作式。如图 4-8 (a) 所示, 直流动作式是利用断路器手动操作机构内的过流脱扣器 (跳闸线圈) YR 中直接动作, 使断路器 QF 不会跳闸, 这种操作方式简单经济, 但保护灵敏度低, 实际上较少应用。

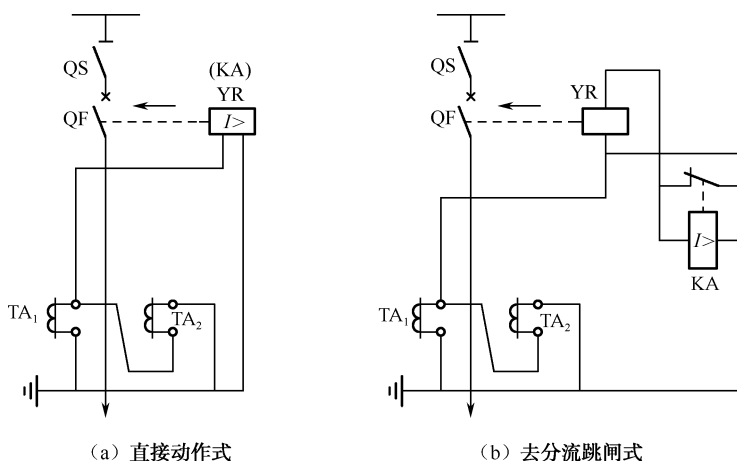


图 4-8 交流操作电源

(2) 去分流跳闸式。如图 4-8 (b) 所示, 正常运行时, 电流继电器 KA 的常闭触点将 YR 短路分流, YR 中无电流流过, 断路器 QF 不会跳闸; 当一次系统发生故障时, 电流继电器 KA 动作, 其常闭触点断开, 从而使电流互感器的二次电流全部通过 YR, 致使断路器 QF 跳闸。这种操作方式的接线比较简单, 且灵敏可靠, 但要求电流继电器 KA 触点的容量足够大。目前, 生产的 GL-15、GL-16、GL-25、GL-26 等型号的电流动继电器, 其触点容量相当大, 完全可以满足控制要求。因此, 这种去分流跳闸的操作方式在工厂供配电系统中已经得到相当广泛的应用。

交流操作电源的优点: 接线简单、投资低廉、维修方便。缺点: 交流继电器性能没有直流继电器完善, 不能构成复杂和完善的保护。因此, 交流操作电源在小型变电所中应用较广, 而对保护要求较高的中小型变电所宜采用直流操作电源。

### 4.1.3 电测量仪表与绝缘监视装置

变电所的测量仪表是保证电力系统安全经济运行的重要工具之一, 测量仪表的连接回路则是变电所二次接线的重要组成部分。

在电力系统和供配电系统中, 进行电气测量的目的有三个: 一个是计费测量, 主要计量用电单位的用电量, 如有功电度表、无功电度表; 二是对供电系统中的运行状态、技术经济分析所进行的测量, 如电压、电流、有功功率、无功功率及有功电能、无功电能测量等。这些参数通常都需要定时记录; 三是对交、直流系统的安全状态如绝缘电阻、三相电压是否平衡等进行监测。由于目的不同, 对测量仪表的要求也不一样。

图 4-2 为 6~10kV 高压线路电气测量仪表的原理接线图和展开接线。线路中除了电流表反映其电流量外, 还安装一只三相有功电度表和一只三相无功电度表, 用来计量有功及无功电量。

计量仪表要求准确度要高，其他测量仪表的准确度要求要低一些。

### 1. 电气测量仪表的配置

常用电气测量仪表有电流表、电压表、无功功率表、有功功率表、相位表及绝缘电阻表等。选择仪表的量程时应尽量使测量仪表的指针达到测量量程的 2/3 左右。

#### 1) 变配电装置中测量仪表的配置

电气测量仪表的配置应符合《电气测量仪表装置设计技术规程》GBJ63—1990 的规定。

(1) 在供配电系统的每一条电源进线上，必须装设计费用的有功电度表和无功电度表及反映电流大小的电流表。通常采用标准计量柜，计量柜内有专用电流、电压互感器。

(2) 在变配电所的每一段母线上（3~10kV），必须装设 4 只电压表，其中一只测量线电压，其他三只测量相电压。

(3) 35kV 以下系统中，变压器在高压侧或低压侧装设电流表、有功功率表、无功功率表、有功电度表和无功电度表各一只。6~10kV/0.4kV 的配电变压器，应在高压侧或低压侧装设一只电流表和一只无功电度表，如单独经济核算的单位变压器还应装设一只无功电度表。

(4) 3~10kV 配电线路，应装设电流表、有功电度表、无功电度表各一只，如不是单独核算单位，无功电度表可不装设。当线路负荷大于 5000kV·A 及以上时，还应装设一只无功功率表。

(5) 低压动力线路上应装设一只电流表。照明和动力混合供电的线路上照明负荷占总负荷 15%~20%以上时，应在每相上装一只电流表。如需电能计量，一般应装设一只三相四线有功电度表。

(6) 并联电容器总回路上，每相应装设一只电流表，并装设一只无功电度表。

#### 2) 仪表的准确度要求

(1) 交流电流、电压表、功能表可选用 1.5~2.5 级；直流电路中电流、电压表可选用 1.5 级；频率表选用 0.5 级。

(2) 电度表及互感器准确度配置见表 4-1。

表 4-1 常用仪表准确度配置

测 量 要 求	互感器准确度	电度表准确度	配 置 说 明
计费计量	0.2 级	0.5 级有功电度表 0.5 级专用电能计量仪表	月平均电量在 10 <sup>6</sup> kW·h 以上
	0.5 级	1.0 级有功电度表 1.0 级专用电能计量仪表 2.0 级无功电度表	(1) 月平均电量在 10 <sup>6</sup> kW·h 以下； (2) 315kV·A 以上变压器高压侧计量
计费计量及一般计量	1.0 级	2.0 级有功电度表 3.0 级无功电度表	(1) 315kV·A 以下变压器低压侧计量点； (2) 75kW 及以上电动机电能计量； (3) 企业内部技术经济考核（不计费）
	1.0 级	1.5 级和 0.5 级测量仪表	
一般测量	3.0 级	2.5 级测量仪表	非重要回路

(3) 仪表的测量范围和电流互感器变流比的选择，宜满足电力装置一额定值运行时，仪表的指示在标度尺的 2/3 处。对有可能过负荷的电力装置回路，仪表的测量范围，宜留有适

当的过负荷裕度。对重载启动的电动机和运行中有可能出现短时冲击电流的电力装置回路，宜采用具有过负荷标度尺的电流表。对有可能双向运行的电力装置回路，应采用具有双向标度尺的仪表。

## 2. 三相电路功率的测量

### 1) 三相有功功率的测量

测量三相有功功率时，如果负载为三相四线制不对称负载，则可用三个单相功率表分别测量每相有功功率，如图 4-9 所示。三相功率为三个功率表的读数之和，即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (4-1)$$

如果测量的是三相三线制对称或不对称负载，则可用两个单相功率表测量三相功率，接线如图 4-10 所示。两个功率表的读数之和为三相有功功率的总和。但要注意，当系统的功率因素小于 0.5 时，会出现一个功率表的指针反偏而无法读数的情况，这时要立即切断电源，将该表电流线圈的两个接线端反接，使它正转。因为该表读数为负，这时电路的总功率为两表读数之差。注意不能将电压线圈的接线端接反，否则会引起仪表绝缘被击穿而损坏。

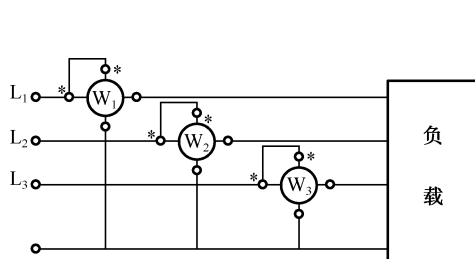


图 4-9 用三个功率表测量三相四线制  
不对称负载功率接线图

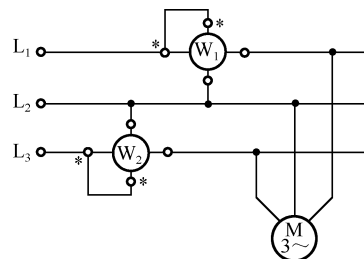
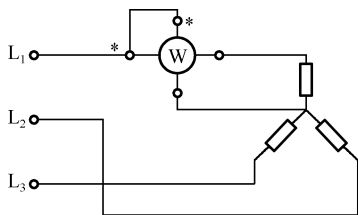
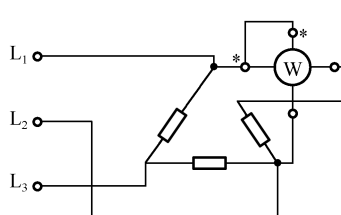


图 4-10 用两表法测量三相三线制  
负载功率接线图

当三相负载对称时，无论是接成三相四线制还是三相三线制，都可以一表法进行测量，再将结果乘以 3，便得到三相功率，如图 4-11 所示。由图 4-11 中可以看出，采用这种方法，星形连接负载要能引出中点，三角形连接负载要能断开其中的一相，以便接入功率表的电流线圈。若不满足该条件，则应采用上述的二功率表法。



(a) 负荷为星形接线



(b) 负荷为三角形接线

图 4-11 用一功率表法测量三相对称负荷功率接线图

三相功率表测量有功功率的原理是基于两表法的原理制造的，用来测量三相三线制对称或不对称负载的有功功率，其接线图如图 4-12 所示。

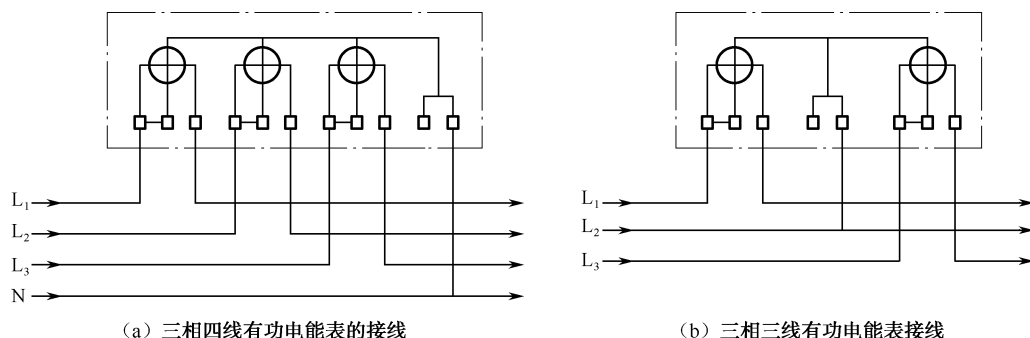


图 4-12 三相有功电能表的接线法

## 2) 三相无功功率的测量

测量三相无功功率，一般常用  $kvar$  表，测量接线与三相有功功率表相同。

也可采用间接法，先求得三相有功功率和视在功率，而后计算出无功功率。也可以通过测量电压、电流和相位计算求得。

## 3) 功率表使用注意事项

(1) 测量交、直流电路的电功率，一般采用电动系仪表。仪表的固定绕组（又称串联绕组或电流绕组）串接入被测电路；活动绕组（又称并联绕组或电压绕组）并接入电路，不要接错。

(2) 使用功率表时，不但要注意功率表的功率量程，而且还要注意功率表的电流和电压量程，以免过载烧坏电流和电压绕组。

(3) 注意功率表的极性。仪表两个绕组正极都标有“\*”标志。测量时，将标有“\*”的电流端钮接到电源侧（直流电路则接正极端），另一个端钮接到负载侧；标有“\*”的电压端钮可接在电流端钮的任一侧，另一个端钮则跨接到负载的另一侧。

## 3. 三相电路电能的测量

(1) 三相电路有功电能的测量。三相四线制有功电能表的接线方法如图 4-12 (a) 所示。在对称三相四线制电路中，可以用一个单相电能表测量任何一相电路所消耗的电能，然后乘以 3 即得三相电路所消耗的有功电能。当三相负载不对称时，就需用三个单相电能表分别测量出各相所消耗的有功电能，然后把它们加起来。这样很不方便，为此，一般采用三相四线制有功电度表，它的结构基本上与单相电能表相同。

三相三线制电路所消耗的有功电能可以用两个电能表来测量，三相消耗的有功电能等于两个单相电能表读数之和，其原理和三相三线制电路功率测量的两表法相同。为了方便测量，一般采用三相三线有功电能表，它的接线方法如图 4-12 (b) 所示。

三相四线有功电能表和三相三线有功电能表的端子接线图分别如图 4-13 和图 4-14 所示。

(2) 三相电路无功电能的测量。在供电系统中，常用三相无功电能表测量三相电路的无功电能。常用的三相无功电能表有两种结构，无论负载是否对称，只要电源电压对称均采用。

## 4. 绝缘监察装置

绝缘监察装置主要用来监视小接地电流系统相对地的绝缘情况。前面介绍过，这种系统发生一相接地时，线电压不变，因此，对系统尚不至于引起危害，但这种情况不允许长期运行，否则当另一点再发生接地时，就会引起严重后果。可能造成继电保护、信号装置和控制回路的误动作，使高压断路器误跳闸或拒绝跳闸。为了防止这种危害，必须装设连续工作的高灵敏度

的绝缘监察装置，以便及时发现系统中某点接地或绝缘降低。

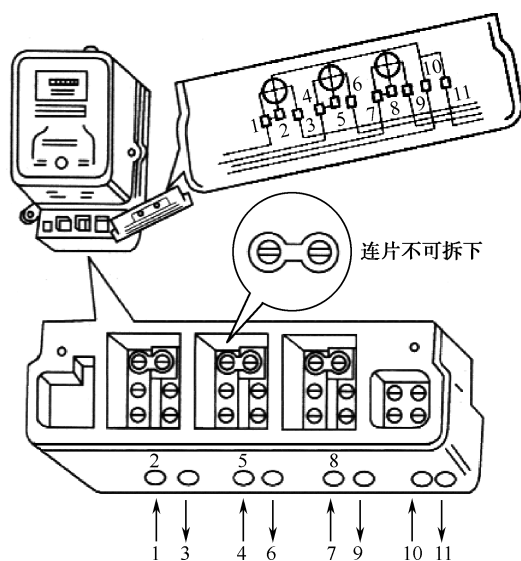


图 4-13 三相四线有功电能表接法

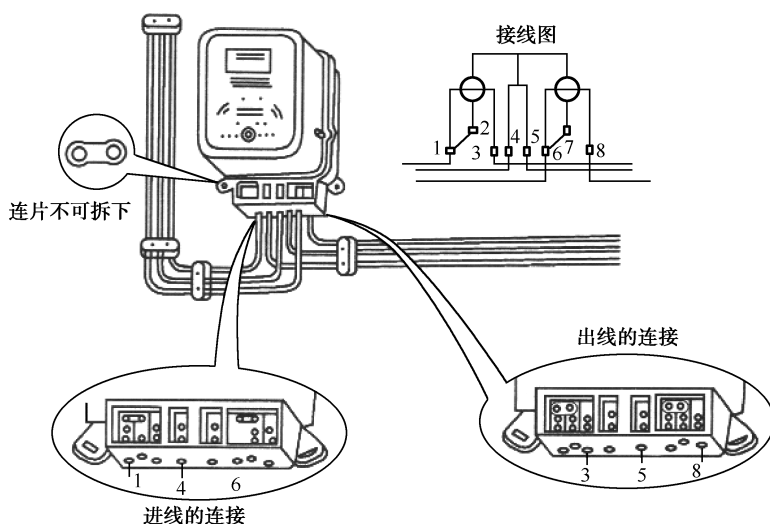
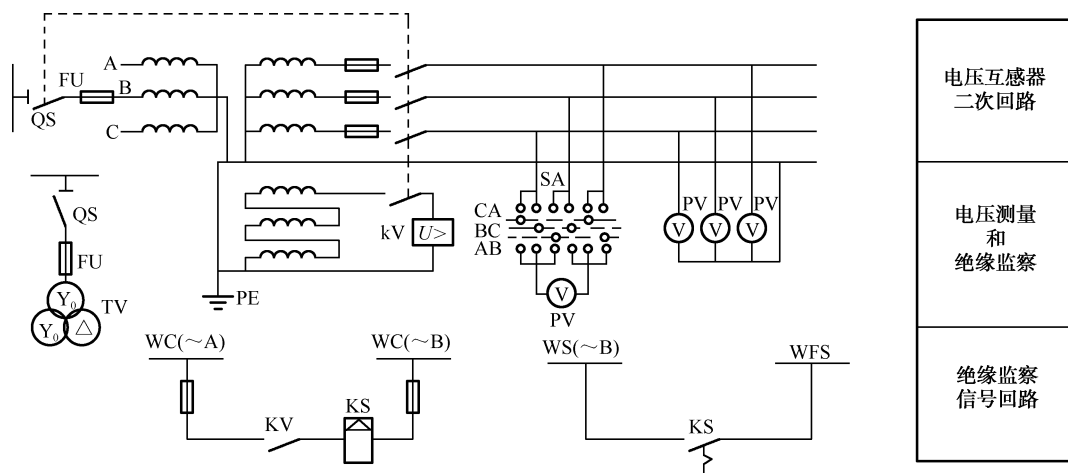


图 4-14 三相三线电能表接法

如图 4-15 所示，绝缘监察装置可采用一个三相五芯柱线圈电压互感器接成的电路。这类电压互感器二次侧有两组线圈，一组接成星形，在它的引出线上接三只电压表，系统正常运行时，反映各个相电压；在系统发生一相接地时，则对应相的电压表指零，另两只表计数升高到线电压。另一组接成开口三角形，构成零序电压过滤器，在开口处接一个过电压继电器。系统正常运行时，三相电压对称，开口两端电压接近于零，继电器不动作，在系统发生一相接地时，接地相电压为零，另两个相差  $120^\circ$  的相电压叠加，则使开口处出现近 100V 的零序电压，使电压继电器动作，发出报警的灯光和音响信号。



TV—电压互感器（ $Y_0/Y_0\Delta$ 接线）；QS—高压隔离开关及触点；SA—电压转换开关；PV—电压表；KV—电压继电器；KS—信号继电器；WC（~A） WC（~B）—控制小母线；WS（~B）—信号小母线；WFS—预报信号小母线

图 4-15 6~10kV 母线的绝缘监察装置及电压测量电路

上述绝缘监察装置能够监视小接地电流系统对地绝缘，值班人员根据信号和电压表指示可以知道发生了接地故障且知道故障相别，但不能判别是哪一条线路发生了接地故障。如果高压线路较多时，采用这种绝缘监察装置还不够。这种装置只适用于线路数目不多，并且只允许短时停电的供电系统中。

#### 4.1.4 断路器控制回路信号系统

##### 1. 控制回路

变电所在运行时，由于负荷的变化或系统运行方式的改变，经常需要操作切换断路器和隔离开关等设备。断路器的操作是通过它的操作机构来完成的，而控制电路就是用来控制操作机构动作的电气回路。

控制电路按照控制地点的不同，可分为就地控制电路及控制室集中控制电路两种类型。车间接变电所和容量较少的总降压变电所的 6~10kV 断路器的操作，一般多在配电装置旁手动进行，也就是就地控制。总降压变电所的主变压器和电压为 35kV 以上的进出线断路器及出线回路较多的 6~10kV 断路器，采用就地控制很不安全，容易引起误操作，故可采用由控制室远方集中控制。按照对控制电路监视方式的不同，有灯光监视控制及音响监视控制电路之分。由控制室集中控制及就地控制的断路器，一般多采用灯光监视控制电路，只在重要情况下才采用音响监视控制电路。

控制电路要达到以下的基本要求：

- （1）由于断路器操作机构的合闸与跳闸线圈都是按短时通过电流进行设计的，因此，控制电路在操作过程中只允许短时通电，操作停止后即自动断电。
- （2）能够准确指示断路器的分、合闸位置。
- （3）断路器不仅能用控制开关及控制电路进行跳闸及合闸操作，而且能由继电器保护及自动装置实现跳闸及合闸操作。
- （4）能够对控制电源及控制电路进行实时监视。

(5) 断路器操作机构的控制电路要有机械“防跳”装置或电气“防跳”措施。

上述五点基本要求是设计控制电路的基本依据。

图 4-16 为 LW2-Z 型控制开关触点表的示例，它有六种操作位置，图 4-17 为常用的断路器的控制回路和信号回路，其动作原理如下：

在“跳闸后”位置的手柄（正面）的样式和触点盒（背面）接线图																		
手柄和触点盒形式		F <sub>8</sub>	1a	4	6a	40	20	20										
触 点 号		—	1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-23	21-22	22-24
位 置	跳闸后		—	×	—	—	—	—	×	—	×	—	—	—	×	—	—	×
	预备合闸		×	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	×	—	—	×	—
	合闸		—	—	×	—	—	×	—	—	—	×	×	—	—	×	—	—
	合闸后		×	—	—	—	×	—	—	—	—	×	×	—	—	×	—	—
	预备跳闸		—	×	—	—	—	—	×	×	—	—	—	×	—	—	×	—
	跳闸		—	—	—	×	—	—	×	—	×	—	—	—	×	—	—	×

图 4-16 LW2-Z 型控制开关触点表

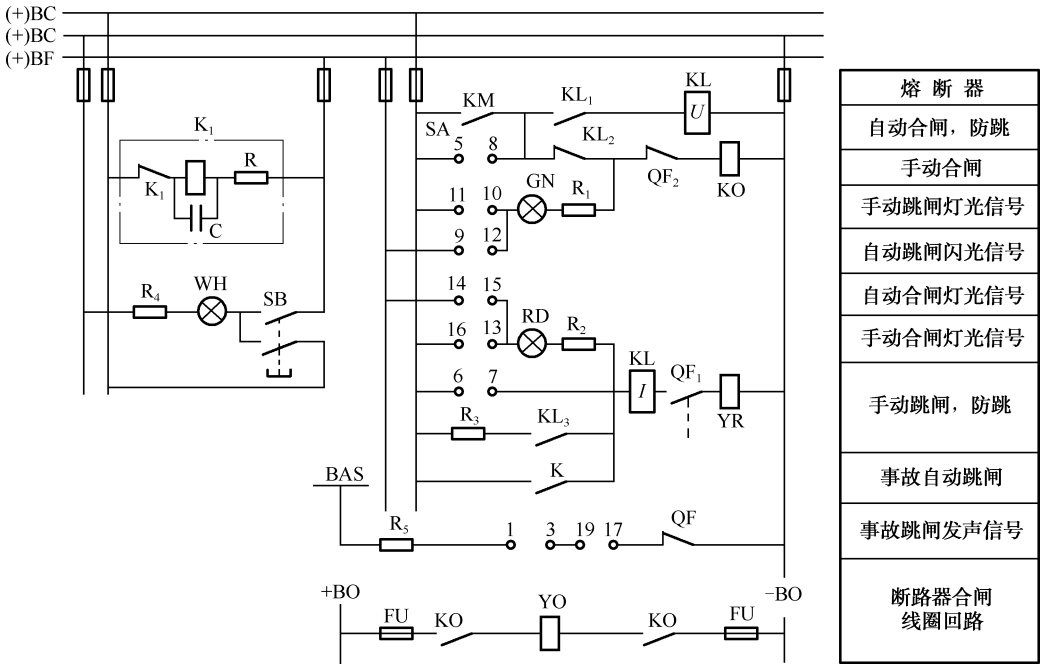


图 4-17 断路器的控制回路和信号回路

(1) 手动合闸。合闸前, 断路器处于“跳闸后”的位置, 断路器的辅助触点  $QF_2$  闭合。由图 4-16 的控制开关触点表知 SA10-11 闭合, 绿灯 GN 回路接通发亮。但由于限流电阻  $R_1$  限流, 不足以使合闸寄存器 KQ 动作, 绿灯亮表示断路器处于跳闸位置, 而且控制电源和合闸回路完好。

当控制开关扳到“预备合闸”位置时, 触点 SA9-10 闭合, 绿灯 GN 改在 BF 母线上, 发出绿闪光, 说明情况正常, 可以合闸。当开关再旋至合闸位置时, 触点 SA5-8 接通, 合闸接触器 KQ 动作使合闸线圈 YO 通电, 断路器合闸。合闸完成后, 辅助触点  $QF_2$  断开, 切断合闸电源, 同时  $QF_1$  闭合。

当操作人员手柄放开后, 在弹簧的作用下, 开关回到“合闸后”位置, 触点 SA13-16 闭合, 红灯 RD 电路接通。红灯亮表示断路器在合闸状态。

(2) 自动合闸。控制开关在“跳闸后”位置, 若自动装置的中间继电器接点 KM 闭合, 将使合闸接触器 KO 动作合闸。自动合闸后, 信号回路控制开关中 SA14-15、红灯 RD、辅助触点  $QF_1$  与闪光母线接通, RD 发出红色闪光, 表示断路器是自动合闸的, 只有当运行人员将手柄扳到“合闸后”位置, RD 才发出平光。

(3) 手动跳闸。首先将开关扳到“预备跳闸”位置, SA13-14 接通, RD 发出闪光。再将手柄扳到“跳闸”位置。SA6-7 接通, 使断路器跳闸。松手后, 开关又自动弹回到“跳闸后”位置。跳闸完成后, 辅助触点  $QF_1$  断开, 红灯熄灭,  $QF_2$  闭合, 通过触点 SA10-11 使绿灯发出闪光。

(4) 自动跳闸。如果由于故障, 继电保护装置动作, 使触点 K 闭合, 引起断路器合闸。由于“合闸后”位置 SA9-10 已接通, 于是绿灯发出闪光。

在事故情况下, 除用闪光信号显示外, 控制电路还备有音响信号。在图 4-17 中, 开关触点 SA1-3 和 SA19-17 与触点 QF 串联, 接在事故音响母线 BAS 上, 当断路器因事故跳闸而出现“不对应”(即手柄处于合闸位置, 而断路器处于跳闸位置)关系时, 音响信号回路的触点全部接通而发出声响。

(5) 闪光电源装置。闪光电源装置由 DX-3 型闪光继电器  $K_1$ 、附加电阻 R 和电容 C 等组成。当断路器方式事故跳闸后, 断路器处于跳闸状态, 而控制开关仍留在“合闸后”位置, 这种情况称为“不对应”关系。在此情况下, 触点 SA9-10 与断路器辅助触点  $QF_2$  仍接通, 电容器 C 开始充电, 电压升高, 当电压升高到闪光继电器  $K_1$  的动作值时, 继电器动作, 从而断开通电回路, 上述循环不断重复, 继电器  $K_1$  的触点也不断开闭, 闪光母线(+)BF 上便出现断续正电压, 使绿灯闪光。

“预备合闸”、“预备跳闸”和自动投入时, 也同样能启动闪光继电器, 使相应的指示灯发出闪光。

SB 为试验按钮, 按下时白信号灯 WH 亮, 表示本装置电源正常。

(6) 防跳装置。断路器的“跳跃”, 是指运行人员在故障时手动合闸断路器, 断路器又被继电保护动作跳闸, 又由于控制开关位于“合闸”位置, 则会引起断路器重新合闸。为了防止这一现象, 断路器控制回路设有防止跳跃的电气联锁装置。

图 4-17 中 KL 为防跳闭锁继电器, 它具有电流和电压两个线圈, 电流线圈截止跳闸线圈 YR 之前, 电压线圈则经过其本身的常开触点  $KL_1$  与合闸接触器线圈 KO 并联。当继电器保护装置动作, 即触点 K 闭合使断路器跳闸线圈 YR 接通时, 同时也接通了 KL 的电流线圈并使之



启动, 于是, 防跳继电器的常闭触点  $KL_2$  断开, 将 KO 回路断开, 避免了断路器再次合闸, 同时常开触点  $KL_1$  闭合, 通过 SA5-8 或自动装置触点 KM 使 KL 的电压线圈接通并自锁, 从而防止了断路器的“跳跃”。触点  $KL_3$  与继电器触点 K 并联, 用来保护后者, 使其不致断开超过其触点容量的跳闸线圈电流。

## 2. 信号电路

在变配电所运行的各种电气设备, 随时都可能发生不正常的各种状态。在变电所装设的中央信号装置, 主要用来示警和显示电气设备的各种状态, 以便运行人员及时了解, 采取措施。

中央信号装置按形式分为灯光信号和音响信号。灯光信号表明不正常各种状态的性质地点, 而音响信号在于引起运行人员的注意。灯光信号通过装设在各控制屏上的信号灯和光字牌, 表明各种电气设备的情况, 音响信号则通过蜂鸣器和警铃的声响来实现, 设置在控制室内。由全所共用的音响信号, 称为中央音响信号装置。

中央信号装置按用途分为事故信号、预告信号和位置信号。

事故信号表示供电系统在音响中发生了某种故障而使继电保护动作。如高压断路器因线路发生短路而自动跳闸给出的信号即为事故信号。

预告信号表示供电系统运行中发生了某种异常情况, 但并不要求系统中断运行, 只要求给出指示信号, 通知值班人员及时处理即可。如变压器保护装置发出的变压器过负荷信号即为预告信号。

位置信号用于指示电气设备的工作状态, 如断路器的合闸指示灯、跳闸指示灯均为位置信号。

## 实操训练 7 检查电气二次回路的接线盒电缆走向

### 1. 技能实训要求

通过学习应会检查电气二次回路的接线和判断控制电缆的走向。

### 2. 技能实训工作程序

#### 1) 二次回路接线的检查

检查二次接线的主要内容如下:

- (1) 检查接线是否松动。防止发生电流互感器开路运行而将电流互感器烧毁。
- (2) 检查控制按钮、控制开关等的触点及其连接, 应与设计要求一致, 辅助开关触点的转换应与一次设备或机械部件的动作相对应。
- (3) 检查盘内接线是否绑扎并固定完好, 检查其绝缘是否良好。
- (4) 对室外潮湿污秽的场所, 还应检查其防雨、防潮、防污、防尘和防腐等措施是否完备。

#### 2) 控制电缆的检查

变电所中的电缆特别是控制电缆的数量较大, 容量大的变配电所可能多达几十千米, 所以要将电缆编号, 以防弄错。检查控制电缆的主要内容如下:

- (1) 检查控制电缆的固定是否牢固。
- (2) 检查电缆标示牌字迹是否清楚。
- (3) 检查电缆有无发热现象。
- (4) 检查电缆进入沟道、隧道等构筑物 and 屏、柜内及穿入管子时, 出口密封是否良好。

### 3. 注意事项

控制电缆的编号由安装单位（安装设备）符号及数字组成。数字编号为三位数字，以不同的用途分组。

#### 4.1.5 费控智能电能表

##### 1. DDZY63 型单相费控智能电能表

###### 1) 概述

DDZY63 型单相远程费控智能电能表是按照 GB/T17215.312—2008《1 级和 2 级静止式交流有功电能表》、GB/T17215.211—2006《交流电测量设备、通用要求、实验和实验条件》等标准制造。通信规约符合 DL/T645—2007《多功能电能表通信协议》的分時計费的先进可靠的，是新一代智能型高科技电能计量产品，适用于额定电压为 220V，频率 50Hz 的单相交流有功电能的多费率计量。它体积小、质量轻，并具有高可靠、高精度、长寿命等优点。它适应电压范围宽，且整机出厂后无须调整。可以广泛应用于城市、农村或工厂企业单相交流电的分時計量，以及阶梯结算的场合。

###### 2) 工作原理

被测单相交流电压和电流经过高精度采样后送到专用电能计量芯片经过一系列数字处理后，转换成与有功功率成正比的脉冲频率信号送给微处理器，微处理器将脉冲信号依据结算日和冻结指令及依据费率时段进行分时累加，得到总电量和各种冻结电量及各费率电量进行累加，结果保存到数据存储器中。微处理器同时完成显示和与外部进行信息交换的功能，其原理框图如图 4-18 所示。

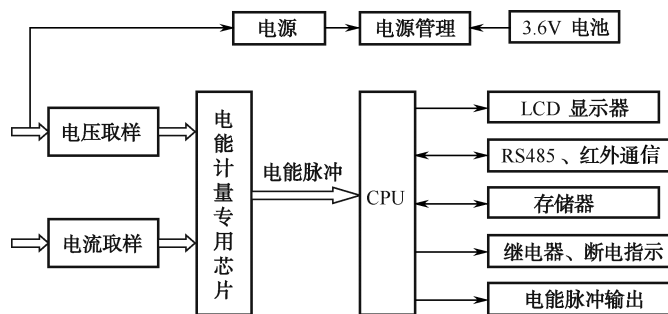


图 4-18 单相费控智能电能表工作原理框图

###### 3) 功能特点

(1) 计量功能。具有正向有功电能、反向有功电能计量功能，能存储其数据，并可以据此设置组合有功；具有分时计量功能，有功电能按相应的时段分别累计、存储总、尖、峰、平、谷电能量；存储上 12 个月的总电能和各费率电能量；数据存储分界时刻为月末 24 时，或在每月 1 号至 28 号内的整点时刻。

(2) 远程费控功能。电费计算在远程售电系统中完成，表内不存储、显示与电费、电价相关信息。电能表接收远程售电系统下发的拉闸、允许合闸、ESAM 数据抄读指令时，需通过严格的密码验证及安全认证。

在保证安全的情况下，可通过虚拟介质对电能表内的用参数进行设置；不提倡通过载波通信信道实现费率时段表、电价方案等用电参数的远程预置。



(3) 安全认证加密。通过固态介质或虚拟介质对电能表进行参数设置、预存电费、信息返写和下发远程控制命令操作时，需通过严格的密码验证或 ESAM 模块等安全认证，以确保数据传输安全可靠。ESAM 模块的加密算法采用国密算法，使用 SMI 国密算法。符合《智能电能表信息交换安全认证技术规范》。

(4) 测量及监测。能测量、记录显示当前电能表的电压、电流（包括零线电流）、功率、功率因数等运行参数。测量误差（引用误差）不超过±1%。

(5) 事件记录。

- ① 永久记录电能表清零事件的发生时刻及清零时的电能量数据；
- ② 记录编程总次数，最近 10 次编程时刻、操作者代码、编程项的数据标识；
- ③ 记录校时总次数，最近 10 次校时的时刻、操作者代码；
- ④ 记录掉电的总次数，最近 10 次掉电发生及结束的时刻；
- ⑤ 记录最近 10 次远程控制拉闸和最近 10 次远程控制合闸事件，记录拉、合闸事件发生时刻和电能等数据；
- ⑥ 记录开表盖总次数，最近 10 次开表盖事件的发生、结束时刻；
- ⑦ 记录最近 10 次时区表编程记录；
- ⑧ 记录最近 10 次时段表编程记录；
- ⑨ 记录最近 10 次结算日编程记录；
- ⑩ 记录最近 10 次有功组合方式编程记录。

(6) 显示功能。循环显示、按键显示两种显示方式。自动循环显示时间间隔可在 5~20s 设置；循环显示时间间隔默认为 5s；上电按键显示时启动背光。

电能表显示：显示信息、显示代码见表 4-2、表 4-3（仅供参考）。

表 4-2 电能表循环显示项目列表

序 号	显示项目（内容）	数据显示格式
01	当前组合有功总电量	×××××××·××
02	当前组合有功尖电量	×××××××·××
03	当前组合有功峰电量	×××××××·××
04	当前组合有功平电量	×××××××·××
05	当前组合有功谷电量	×××××××·××

表 4-3 电能表按键显示项目列表

序 号	显示项目（内容）	数据显示格式
01	当前组合有功总电量	×××××××·××
02	当前组合有功峰电量	×××××××·××
03	当前组合有功谷电量	×××××××·××
04	上 1 个月组合有功总电量	×××××××·××
05	上 1 个月组合有功峰电量	×××××××·××
06	上 1 个月组合有功谷电量	×××××××·××
07	上 2 个月组合有功总电量	×××××××·××

续表

序 号	显示项目（内容）	数据显示格式
08	上 2 个月组合有功峰电量	×××××××·××
09	上 2 个月组合有功谷电量	×××××××·××
10	表号低 8 位	××××××××
11	表号高 4 位	××××
12	当前日期	××·××·××
13	当前时间	××·××·××
14	电压	×××·×V
15	电流	×××·×××A
16	零线电流	×××·×××A
17	功率	××·××××kW
18	功率因数	×·×××
19	故障代码	Err-××

电量显示单位为千瓦时（kW·h），显示位数为 8 位，含两位小数。

剩余金额小数单位为元，显示位数为 8 位，含两位小数。

LCD 背光唤醒方式，包括按键唤醒、红外唤醒（任意红外设备均可唤醒）、插卡唤醒等方式；费控卡片卡槽中拔出后，背光应熄灭（本地表）；在正常使用情况下，LCD 寿命不小于 10 年。

停电时可通过按键唤醒显示（背光灯可不点亮）；唤醒后如无操作，LCD 在自动显示一个循环后应自动关闭；按键显示操作结束 30s 后自动关闭显示。

（7）报警功能。报警时 LCD 根据不同故障立即停留在报警代码上并有报警提示，显示错误信息码，见表 4-4。

表 4-4 显示错误信息码

序 号	出 错 代 码	代 码 解 析
1	Err-01	控制回路错误
2	Err-02	ESAM 错误
3	Err-03	时钟电池电压低
4	Err-04	存储器故障或损坏
5	Err-05	时钟故障
6	Err-06	认证错误
7	Err-07	修改密钥错误

（8）冻结功能。

定时冻结：按照约定的时间及间隔冻结电能量数据；每个冻结量至少保存 12 次。

瞬时冻结：在非正常情况下，冻结当前的日历、时间、所有电能量和重要测量量的数据；瞬时冻结量应保存最后 3 次的数据。

约定冻结：在新老两套费率/时段转换、阶梯电价转换或电力公司认为有特殊需要时，冻结转换时刻的电能量及其他重要数据，保存最后 2 次冻结数据。

日冻结：存储每天零点时刻的电能量，存储 62 天的数据。

整点冻结：存储整点时刻或半点时刻的有功总电能，存储 254 个数据。

冻结内容及对应的数据标识符合 DL/T645—2007 及其备案文件要求。

(9) 计时功能。采用具有温度补偿功能的内置硬件时钟电路，具有日历、计时、闰年自动转换功能；内部时钟端子输出频率为 1Hz。在  $-25^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  温度范围内，时钟准确度  $\leq \pm 1\text{s/d}$ ；在参比温度 ( $23^{\circ}\text{C}$ ) 下，时钟准确度  $\leq \pm 0.5\text{s/d}$ 。

电能表可接受的广播校时范围不得大于 5min；广播校时无须编程键和通信密码配合；每天只允许校对一次，且应避免在电能表执行冻结或结算数据转存操作前后 5min 内进行。

对时功能：当编程开关打在“编程允许时”，可向电能表的式申写入任意时间。当编程开关打在“编程禁止时”，只能对于误差在 5min 之内的电表，进行对时。对于误差范围之外的电表，掌上机和 RS485 不得进行校时，并作为故障表实行记录。

(10) 数据存储、通信、编程。

数据存储：

① 能存储上 12 个结算日的单向或双向总电能和各费率电能数据；数据转存分界时刻为月末的 24 时（月初零时），或在每月的 1 号至 28 号内的整点时刻。

② 在电能表电源断电的情况下，所有与结算有关的数据至少保存 10 年，其他数据至少保存 3 年。

RS485 通信：

① RS485 接口和电能表内部电路实行电气隔离，并有失效保护电路。

② RS485 接口满足 DL/T645—2007 电气要求，并能耐受交流电压 380V、2min 不损坏的试验。

③ RS485 接口通信速率可设置，标准速率为 1200bps、2400bps、4800bps、9600bps，默认值为 2400bps。

④ RS485 接口通信遵循 DL/T645—2007 协议及其备案文件。

红外通信：

① 具备调制型红外接口。

② 红外接口的电气和机械性能应满足 DL/T645—2007 的要求。

③ 调制型红外接口默认的通信速率为 1200bps。

红外通信遵循 DL/T645—2007 协议及其备案文件。

电表清零：

① 清除电能表内存储的电能量、最大需量、冻结量、事件记录、负荷记录等数据。

② 清零操作作为事件永久记录，具有防止非授权人操作的安全措施：设置硬件编程开关、操作密码或封印管理及保留清零前数据等。

③ 电能表底度值只能清零，禁止设定。

编程开关：

① 编程开关采用按键式设计，且只有在打开封印后方能触及到编程开关。

② 在可编程状态下，若 240min 内没有任何操作，电能表将自动关闭编程状态。240min

内电表掉电再上电仍然保持编程状态，电表掉电时间不计算在内。

编程密码：

① 电能表先通过编程密码验证才能执行编程或其他特殊操作。

② 密码采用两级管理每一级密码由 6 位阿拉伯数字组成；密码权限等级不同，可执行的操作不同。

③ 具有高等级密码权限的人员，可修改低等级密码，并执行低等级密码的所有操作。

连续 3 次密码输入错误，电能表将自动关闭编程功能 24h。

出厂编程密码默认设置：02 级密码（清零密码）：000000；04 级密码（编程密码）：111111。

安全保护：电能表具备编程开关和编程密码双重防护措施，可以防止非授权人进行编程操作。电能表仅在允许编程状态下才能进行编程操作，广播校时和读表操作不受编程开关的控制。

物理特性：电源采用单相电供电方式，变压器的初级加装压敏电阻。由于计量单元、微处理器单元和 RS485 通信单元均采用光耦相互隔离，因此，各单元的电源采用分别供电方式；计量单元用一组+5V 电源；微处理器单元用一组+5V 电源；RS485 通信单元用一组+5V 电源。保证各个工作单元之间不会相互影响。

#### 4) 主要技术参数

(1) 基本误差：符合 GB/T17215.321—2008 要求。

(2) 时钟准确度：在参比温度下不大于 0.5s/d，环境温度对日计时误差影响不大于 0.1s/(d.°C)。

(3) 电池容量： $\geq 1.2\text{Ah}$ 。

(4) 停电后数据保存时间： $\geq 10$  年。

(5) 停电后时钟工作时间： $\geq 5$  年。

(6) 停电后时钟电流： $\leq 0.5\mu\text{A}$ 。

(7) 正常工作电压： $0.8U_n \sim 1.2U_n$ 。

(8) 极限工作电压： $0.65U_n \sim 1.9U_n$ 。

(9) 电压回路功耗：在参比电压、参比温度和参比频率下，电能表电压线路的有功功率和视在功率消耗在非通信状态下不大于 1.5W、10V·A；在通信状态下不大于 3W、12V·A。

(10) 电流回路功耗：在基本电流、参比温度和参比频率下，电能表电流线路的视在功率消耗不大于 1V·A。

(11) 正常工作温度： $-25^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 。

(12) 极限工作温度： $-40^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ 。

(13) 存储和运输温度： $-40^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ 。

(14) 环境温度： $\leq 95\%$ 。

(15) 产品寿命：大于 10 年。

(16) 电能脉冲宽度： $80 \pm 20\text{ms}$ ，典型值：80ms。

(17) 调制式红外通信速率：1200bps（默认值）。

(18) RS485 通信速率：2400bps（默认值），1200、2400、4800、9600（可选）。

#### 5) 规格和常数

规格和常数见表 4-5。



表 4-5 规格和常数

参 比 电 压	220V	
频 率	50Hz±5%	
电 流 规 格 和 参 数	1.5 (6) A	16000 imp/kW · h
	5 (20) A	3200 imp/kW · h
	5 (40) A、10 (40) A	1600 imp/kW · h
	5 (60) A、10 (60) A	1200 imp/kW · h
	20 (80) A、20 (100) A	800 imp/kW · h

6) 基本误差

基本误差（精度等级 2.0）见表 4-6。

表 4-6 基本误差（精度等级 2.0）

负 载 电 流	功 率 因 数	基本误差限度值/%
$0.05I_b \leq I < 0.1I_b$	1.0	±0.9
$0.1I_b \leq I \leq I_{max}$		±0.6
$0.1I_b \leq I < 0.2I_b$	0.5（感性）	±0.9
$0.2I_b \leq I \leq I_{max}$	0.8（容性）	±0.6

7) 安装接线

(1) 安装。

电表外形尺寸：160mm（高）×112mm（宽）×58mm（厚）。

电表安装是表上部有挂钩螺钉孔，用 M4 挂钩螺钉固定，电表下部有两个安装孔用 M4×10 或 M4×12 普通螺钉固定在接线板上。

(2) 接线。直接接入式外置继电器接线图如图 4-19 所示。直接接入式电能表接线端子定义见表 4-7。

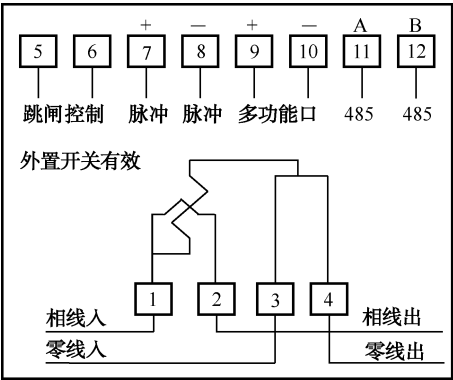


图 4-19 直接接入式外置继电器接线图

表 4-7 直接接入式电能表接线端子定义

1	相线接线端子	7	脉冲接线端子
2	相线接线端子	8	脉冲接线端子
3	零线接线端子	9	多功能输出口接线端子
4	零线接线端子	10	多功能输出口接线端子
5	跳闸控制端子	11	485-A 接线端子
6	跳闸控制端子	12	485-B 接线端子

经互感器接入式外置继电器接线图如图 4-20 所示。经互感接入式电能表接线端子定义见表 4-8。

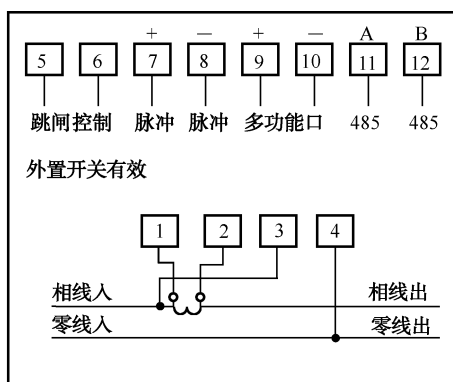


图 4-20 经互感器接入式外置继电器接线图

表 4-8 经互感器接入式电能表接线端子定义

1	电流接线端子	7	脉冲接线端子
2	电流接线端子	8	脉冲接线端子
3	相线接线端子	9	多功能输出口接线端子
4	零线接线端子	10	多功能输出口接线端子
5	跳闸控制端子	11	485-A 接线端子
6	跳闸控制端子	12	485-B 接线端子

### （3）通信接口的连接。

电表提供 RS485 接口，通信终端的两个通信线 A、B 线与电表辅助端子 11、12 标号端口连接。本表的通信接口均具有防静电和瞬时过电流保护功能，但组网布线时需注意：通信线最好远离大电流线路，且不与它平行。如选用的通信线具有屏蔽层，请将屏蔽层接地增强抗干扰能力。

### 8) 注意事项

DDZY63 型单相远程费控智能化电能表内部无用户可调节的装置。

安装使用时，各接线必须拧紧，避免因接触不良而发热损坏电能表。电源进线、出线不可接反。电能表应装在室内通风干燥处，避免强光直线照射红外接收窗口。



当使用红外接口进行通信时,应避免强光干扰红外通信接口,并注意调整红外通信距离和通信角度,布置通信的可靠性。

## 2. DTZY311/DSZY311 型三相费控智能电能表

### 1) 概述

DTZY311/DSZY311 型三相费控智能电能表是根据国家电网“统一坚强智能电网”建设的总体要求,在国网公司智能电表系列标准的基础上研制而成的新一代智能电能表。该表具有电能计量、需量测量、显示、校时、冻结、负荷记录、电能表运行参数的测量及监测、停电抄表、数据存储、远程费控、时钟、时段及费率等功能,满足电力部门及时有效地对用户进行现代化科学管理的需求。

### 2) 主要规格

DTZY311/DSZY311 型三相费控智能电能表主要规格见表 4-9。

表 4-9 DTZY311/DSZY311 型三相费控智能电能表主要规格

产品型号	名 称	准确度等级	参 比 电 压	电 流 规 格	有功常数 / ( imp/kW · h )	无功常数 / ( imp/kvar · h )
DTZY311	三相四线费 控智能电能表	有功 1 级 无功 2 级	3×220/380V	3×1.5 (6) A	6400	6400
				3×5 (20) A	1200	1200
				3×5 (30) A	800	800
				3×5 (40) A 3×10 (40) A	600	600
				3×10 (60) A	400	400
				3×20 (80) A	320	320
				3×20 (100) A	240	240
			3×57.7/100V	3×1.5 (6) A	20000	20000
				3×0.3 (1.2) A	100000	100000
DSZY311	三相三线费 控智能电能表	有功 1 级 无功 2 级	3×100V	3×1.5 (6) A	20000	20000
				3×0.3 (1.2) A	100000	100000

### 3) 主要性能指标

(1) 执行标准: GB/T17215.301—2007、DL/T645—2007。

(2) 基本误差: 符合 GB/T17215.301—2007《多功能电能表特殊要求》中对误差的要求。

(3) 电压范围:

① 规定的工作范围:  $0.9U_n \sim 1.1U_n$ 。

② 扩展的工作范围:  $0.8U_n \sim 1.15U_n$ 。

③ 极限工作范围:  $0.0U_n \sim 1.15U_n$ 。

(4) 温湿度范围:

温湿度范围见表 4-10。

表 4-10 温/湿度范围

工作温度范围			工作相对湿度	
安 装 方 式	户 内 式	户 外 式		
规定的工作范围	-10℃~45℃	-25℃~60℃	年平均	<75%
极限工作范围	-25℃~60℃	-40℃~70℃	一年内 30 天自然分布	95%
储存和运输极限温度	-25℃~70℃	-40℃~70℃	在其他天偶然出现	85%

## (5) 功耗:

电压线路功能: 在参比温度、参比频率和三相电压等于额定值的条件下, 每一电压线路的有功功率和视在功率消耗小于  $1.5\text{W}$ 、 $6\text{V} \cdot \text{A}$ 。

电流线路功耗: 在基本电流、参比温度和参比频率下, 电能表基本电流小于  $10\text{A}$  时每一电流线路的视在功率小于  $0.2\text{V} \cdot \text{A}$ , 电能表基本电流大于  $10\text{A}$  时每一电流线路的视在功率小于  $0.4\text{V} \cdot \text{A}$ 。

(6) 外形尺寸:  $290\text{mm}$  (高)  $\times 170\text{mm}$  (宽)  $\times 85\text{mm}$  (厚)。

(7) 质量: 约  $2.4\text{kg}$ 。

## 4) 主要功能

## (1) 电能计量。

具有正向有功、反向有功电能、四象限无功电能计量功能, 并可以据此设置组合有功和组合无功电能。

四象限无功电能除能分别记录、显示外, 还可以通过软件编程, 实现组合无功 1 和组合无功 2 的计算、记录、显示。

具有分时计算功能, 可按相应的时段分别累计, 存储总、尖、峰平、谷有功电能和无功电能。

具有计量分相有功电能量功能。

能存储 12 个结算日电量数据, 结算时间可设定为每月中任何一天的整点时刻。

## (2) 需量测量。

测量双向最大需量、分时段最大需量及其出现的日期和时间, 并存储带时标的的数据。

最大需量测量采用滑差方式, 需量周期和滑差时间可设置。出厂默认值: 需量周期  $15\text{min}$ 、滑差时间  $1\text{min}$ 。

当发生电压线路上电、时段转换、清零、时钟调整等情况时, 电能表从当前时刻开始, 按照需量周期进行需量测量, 当第一个需量周期完成后, 按滑差间隔开始最大需量测量。在一个不完整的需量周期内, 不做最大需量的记录。

能存储 12 个结算日最大需量数据。

## (3) 显示功能。

采用大屏幕宽温中文字符液晶显示, 具有防紫外线功能, 在正常使用情况下, LCD 寿命大于 10 年。

LCD 全屏显示示意图如图 4-21 所示。

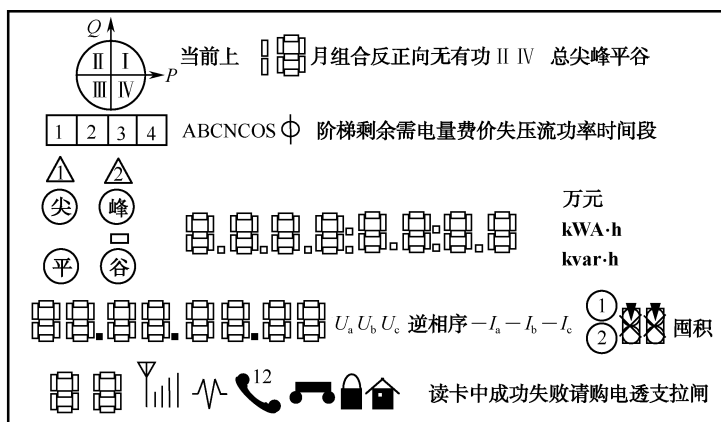


图 4-21 LCD 全屏显示示意图

具备自动循环和按键两种显示方式：自动循环显示时间间隔可在 5~20s 内设置；按键显示时，LCD 应启动背光，带电时无操作 60s 后自动关闭背光。

#### (4) 费率、时段及电价方案。

具有两套费率时段表，可在约定的时刻自动转换。

具有日历、时钟，全年可设置 2 个时区，24h 内可任意编程 14 个时段；时段的最小间隔为 15min；时段可跨越零点设置。

具有两套电价方案，可在约定的时刻或达到约定的用电水平时自动转换。

#### (5) 计时、校时功能；测量及监测。

计时、校时功能：

具有温度补偿功能的内置硬件时钟电路，具有日历、计时、闰年自动转换功能；内部时钟端子输出频率为 1Hz。在 -25℃~+60℃ 温度范围内，时钟准确度  $\leq \pm 1\text{s/d}$ ；在参比温度（23℃）下，时钟准确度  $\leq \pm 0.5\text{s/d}$ 。

电能表可接受的广播校时范围不得大于 5min；广播校时无须编程键和通信密码配合；每天只允许校对一次，避免在电能表执行冻结或结算数据转存操作前后 5min 内进行。

测量及监测：

能测量、记录显示当前电能表的总及各分相电压、电流、功率、功率因数等运行参数。测量误差（引用误差）不超过  $\pm 1\%$ 。

提供监测功能，可对线（相）电压、电流、功率因数等参数设置限值并进行监测，当某参数超出或低于设定的限值时，以事件方式进行记录。

#### (6) 冻结、负荷记录、停电抄表。

冻结包括以下几项。

定时冻结：按照指定的时刻、时间间隔冻结电能量数据，每个冻结量至少保存 12 次。

瞬时冻结：在非正常情况下，冻结当前的所有电量数据、日历和时间及重要的测量数据；瞬时冻结量保存最后 3 次数据。

约定冻结：在新老两种费率/时段转换、阶梯电价转换或电力公司认为有特殊要求时，冻结约定时刻的电量及其他重要数据。

日冻结：存储每天零点的电能量，可存储 2 个月的数据量。

负荷记录:

负荷记录内容可以从 DL/T645—2007 定义的“电压、电流、频率”、“有、无功功率”、“功率因数”、“有、无功总电能”、“四象限无功总电能”、“当前需量”6 类数据项中任意组合。

负荷记录间隔时间可以在 1~60min 范围内设置, 每类负荷记录的时间间隔可以相同, 也可以不同。

负荷记录存储空间在记录正方向有功总电能、无功总电能、四象限无功总电能, 时间间隔为 1min 的情况下可记录大于 40 天的数据容量。

停电抄表: 在停电状态下, 能通过按键或非接触方式唤醒电能表, 抄读电能量等数据。

(7) 数据存储功能、脉冲输出、失压与断相。

数据存储功能:

能存储 12 个结算日的双向总电能量和各费率的电能量数据, 数据转存分界时刻为月末 24 时(月初零时)或在每月 1 至 28 日内的整点时刻。

能存储 12 个结算日的双向最大需量、各费率最大需量及其出现的日期和时间数据, 数据转存分界时刻为月末 24 时(月初零时)或在每月 1~28 日内的整点时刻。月末转存的同时, 当月的最大需量值应自动复零, 其他时刻最大需量值不转存, 最大需量也不复零。

脉冲输出: 电能表具备与所计量的电能成正比的 LED 脉冲和电量脉冲输出功能。光测试输出装置的特性应符合 GB/T17215.211—2006 的要求。电测试输出装置的特性应符合 GB/T115284—2002 的要求。

失压、断相: 发生任意相失压、断相时, 电能表都应进行记录并发出正确提示信息。

(8) 远程费控功能、通信要求。

远程费控功能: 电能表利用 RS485 接收远程售电系统下发的拉闸、允许合闸、ESAM 数据抄读指令时, 需通过严格的密码验证及安全认证。ESAM 模块的加密算法符合国家密码管理的有关政策, 使用 SMI 算法。

通信要求: 具有一个红外通信接口和两个 RS485 通信接口, 通信接口物理层彼此独立, 一种通信信道的损坏不影响其他信道。RS485 通信接口和电能表内部电路实现电气隔离, 有失效保护电路。

通信协议符合 DL/T645—2007 及其备案文件的要求; 红外通信传输速率设置为 1200bps, 半双工; RS485 通信传输速率可选择, 默认设置为 2400bps。

(9) 事件记录。

记录编程总次数, 最近 10 次编程的时刻、操作者代码、编程项的数据标识。

记录需量清零的总次数, 最近 10 次需量清零的时刻、操作者代码。

记录校时总次数(不包含广播校时), 最近 10 次校时的时刻操作者代码。

记录各相失压的总次数, 最近 10 次失压发生、结束时刻及对应的电能量数据等信息。

记录各相失流的总次数, 最近 10 次失流发生、结束时刻及对应的电能量数据等信息。

记录各相断相的总次数, 最近 10 次断相发生、结束时刻及对应的电能量数据等信息。

记录最近 10 次电流不平衡发生、结束时刻及对应的电能量数据。

记录电压(流)逆相序总次数, 最近 10 次发生、结束时刻及其对应的电能量数据。

记录开表盖总次数, 最近 10 次开表盖事件的发生、结束时刻。

- 记录开端钮盖总次数，最近 10 次开端钮盖事件的发生、结束时刻。
- 永久记录电能表清零事件的发生时刻及清零时的电能量数据。
- 记录各相过负荷总次数、总时间，最近 10 次过负荷的持续时间。
- 记录掉电的总次数，最近 10 次掉电发生、结束的时刻。
- 记录全失压的总次数，最近 10 次全失压发生、结束时刻及对应的电流值。
- 可抄读每种事件记录总发生次数和（或）总累计时间。
- 记录最近 10 次远程控制拉闸和最近 10 次远程控制合闸事件，记录拉、合闸事件发生时刻和电能量等数据。

(10) 报警功能、状态指示灯、密码和安全保护。

报警功能：当出现下列故障或报警项时，LCD 应立即停留在该代码上或报警提示，且背光灯持续点亮。显示出错误信息码（用 Err-XX 表示）：

- Err-01 控制回路错误；
- Err-02 ESAM 错误；
- Err-04 时钟电池电压低；
- Err-08 时钟故障；
- Err-10 认证错误。

状态指示灯：

- 有功电能脉冲指示灯：红色：平时灭，计量有功电能时闪烁。
- 无功电能脉冲指示灯：红色：平时灭，计量无功电能时闪烁。
- 报警指示灯：红色：正常时灭，报警时常亮。
- 跳闸指示灯：黄色：平时灭，负荷开关分断时亮。

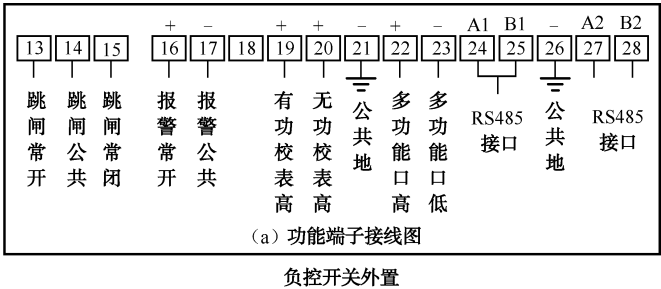
密码和安全保护：编程需要编程开关和密码。编程开关：在可编程状态下，若 240min 内没有任何操作，电能表将自动关闭编程状态。连续 3 次密码输入错误，电能表将自动关闭编程功能 24h。

5) 仪表的安装与接线

电能表尽可能安装在室内，室外安装时采用专用的仪表箱保护，安装底板应固定在坚固耐火且不易振动的墙面上。安装电能表的周围空气中不能有腐蚀性的气体，避免沙尘、盐雾等。

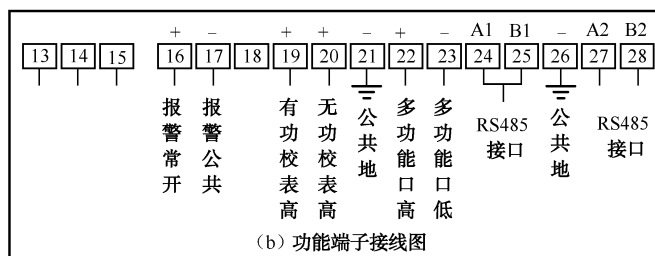
使用电能表时必须严格按照表尾盖内的接线图进行接线，接入端子座的引线采用铜线，端子座内固定引线的螺钉应拧紧，避免因接触不良发热而使电能表烧毁。

电能表端子接线图如图 4-22 所示（严禁带电安装接线！）。



负控开关外置

图 4-22 电能表端子接线图



负控开关内置

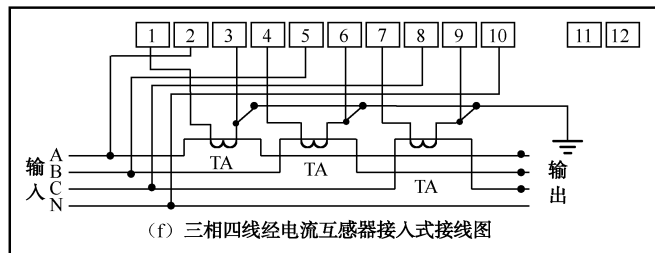
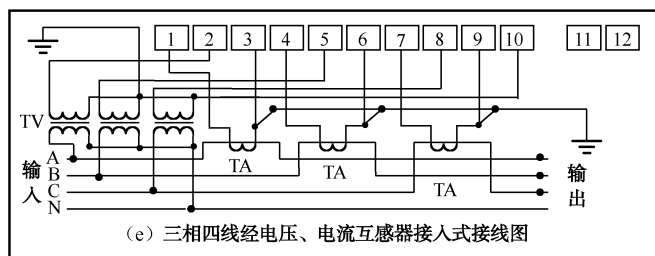
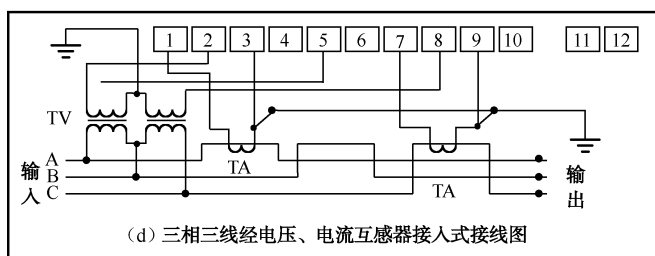
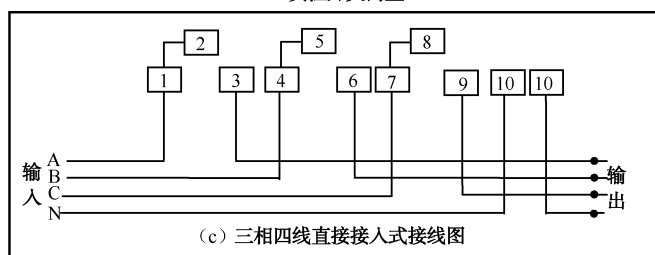


图 4-22 电能表端子接线图 (续)

### 4.1.6 问题与思考

#### 一、填空题

1. 对一次设备的工作状态进行\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的辅助电气设备称为二次设备。变电所的二次设备包括测量仪表、\_\_\_\_\_回路、\_\_\_\_\_装置及\_\_\_\_\_装

置等。

2. 二次回路按功能可分为控制回路、合闸回路、\_\_\_\_\_回路、\_\_\_\_\_回路、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_回路。
3. 二次回路原理图接线用来表示继电保护、\_\_\_\_\_装置和\_\_\_\_\_装置等二次设备或系统的工作原理。它以元件整体形式表示各二次设备间的电气连接关系。
4. 绝缘监察装置主要用来监视\_\_\_\_\_系统相对地的绝缘情况。
5. 在中央信号回路中，事故音响采用\_\_\_\_\_发出音响，而预报信号则采用\_\_\_\_\_发出音响。
6. 三相无功功率一般采用\_\_\_\_\_表，也可采用间接法，先求得\_\_\_\_\_，然后计算出\_\_\_\_\_。
7. 使用功率表时，不但要注意功率表的功率量程，还要注意功率表的\_\_\_\_\_和量程。

## 二、判断题（正确的打√，错误的打×）

8. 为了避免混淆，对同一设备的线圈和触点应用相同的文字符号。 ( )
9. 由控制室集中控制的断路器，一般采用音响控制电路。 ( )
10. 断路器操作机构的控制电路要有机“防跳”装置或电气“防跳”措施。 ( )
11. 断路器手动合闸后，显示灯为绿灯发出闪光。 ( )
12. 两表法测三相功率只适用于三相三线制系统。 ( )
13. 对称三相电路在任一瞬间负载的功率之和都为零。 ( )

## 三、选择题

14. 对二次线路进行故障查找时，主要使用 ( )。  
A. 原理接线图                      B. 展开接线图                      C. 安装接线图
15. 端子板的文字代号是 ( )。  
A. P                                  B. W                                  C. X                                  D. A

## 四、技能题

16. 在使用两个单相功率表测量三相三线制不对称负载时，会出现一个功率表反偏无法读数的情况，此时应如何处理？
17. 电气回路中为什么要装设绝缘监视装置？直流绝缘监视装置是如何发出音响和灯光信号的？
18. 断路器控制回路应满足哪些基本要求？

# 任务2 继电保护的调试与维护

## 【任务描述】

在工厂供配电系统中，由于电气设备内部绝缘的老化、损坏或雷击、外力破坏，以及工作人员的误操作等，可能使运行中的供配电系统发生故障和不正常运行情况。最常见的故障是各种形式的短路。很大的短路电流及短路点燃起的电弧，会损坏设备的绝缘甚至烧毁设备，同时引起电力系统的供电电压下降，引发严重后果。如果在供配电系统中装设一定数量和不同类型

的继电保护设备,可将故障部分迅速地系统中切除,以保证供配电系统的安全运行。本任务是在理解继电保护工作原理的基础上掌握继电保护的動作电流与動作时间的整定,学会检验和调试继电保护装置,能对继电保护进行运行管理。

## 【知识链接】

### 4.2.1 供配电系统继电保护的任務、要求及基本原理

#### 1. 继电保护的任務

继电保护用来保护多种形式的故障和不正常故障状态,保护性能比较好,非常适用于对供电可靠性要求较高、操作灵活方便,尤其是自动化程度较高的高压供配电系统。特别是在保护范围内发生短路时,相应的断路器跳闸,迅速切断故障短路,保证系统设备不受损坏。若是在不正常故障状态动作时,一般只发出警告信号,提醒值班人员注意。但继电保护结构比较复杂,价格较高。继电保护的任務有如下内容。

(1) 当被保护线路或设备发生故障时,能自动迅速且有选择性地將故障元件从供配电系统中切除,保证其他非故障线路迅速恢复正常运行,并且避免故障元件继续遭到破坏。

(2) 当供配电系统出现不正常运行状态时,根据保护装置的性能和运行维护条件,有的作用于信号,如变压器的继电保护、轻瓦斯保护等;有的经过一段时间不正常状态不能自行消除时,作用于开关跳闸,將电路切断,如断路器、自动空气开关等。

#### 2. 继电保护的要求

根据继电保护所担负的主要任务,供配电系统对继电保护提出下列基本要求。

##### 1) 选择性

当供配电系统发生短路故障时,继电保护装置动作,只切除故障元件,并使停电范围最小,以减小故障停电造成的损失。保护装置这种能挑选故障元件的能力称为保护的选择性。

如果供电系统发生故障时,离故障点最近的保护装置不动作,而离故障点远的保护装置动作切除故障,就会使停电范围扩大,这称为失去选择性。如图4-23所示,当K处发生短路故障时,应是距离事故点最近的断路器 $QF_2$ 动作,切除事故,而 $QF_1$ 不应动作,以免事故扩大。只有当 $QF_2$ 拒绝动作,作为后一级保护的 $QF_1$ 才能启动,切除事故。

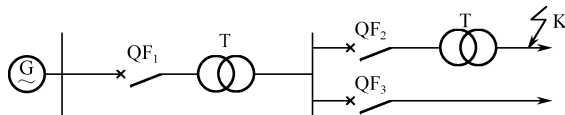


图 4-23 保护装置选择性动作

##### 2) 快速性

为了减小由于故障引起的损失,减少用户在故障时低电压下的故障时间,以及提高供配电系统运行的稳定性,要求继电保护在发生故障时尽快动作將故障切除。快速地切除故障部分可以防止故障扩大,减轻故障电流对电气设备的损坏程度,加快供配电系统电压的恢复,提高供配电系统运行的可靠性。

由于既要满足选择性,又要满足快速性,所以工厂供配电系统的继电保护允许带一定时限,以满足保护的选择性而牺牲一点速动性。对工厂供配电系统,允许延时切除故障的时间一般为0.5~2.0s。



### 3) 灵敏性

灵敏性是指在保护范围内发生故障或不正常工作状态时,保护装置的反应能力,即在保护范围内故障时,不论电路点的位置及短路的类型如何,保护装置都能敏锐且正确地作出反应。继电保护的灵敏性是用灵敏度来衡量的。

不同作用的保护装置和被保护设备,所要求的灵敏度是不同的,在《继电保护和自动装置设计技术规程》中都有规定。

### 4) 可靠性

可靠性是指继电保护装置在其所规定的保护范围内发生故障或不正常故障时,一定要准确动作,即不能拒动;而不属其保护范围的故障或不正常故障时,一定不要动作,即不能误动。

除了满足上述四个基本要求外,对供配电系统继电保护装置还要求投资少,便于调试和运行维护,并尽可能满足用电设备运行的条件。在考虑继电保护方案时,要正确处理四个基本要求之间相互联系又相互矛盾的关系,使继电器保护方案技术上安全可靠,经济上合理。

## 3. 工厂常用保护装置的类型

(1) 继电保护。继电保护是用各种不同类型的继电器按一定的方式连接和组合,构成继电保护装置。当系统出现事故或故障时,检测出并使相应的高压断路器跳闸,将故障部分切除,或给出报警信号。继电保护适用于要求供电可靠性较高的高压供电系统中。

(2) 熔断器保护。熔断器保护广泛适用于高、低压供电系统。由于装置简单经济,在供电系统中应用得相当普遍。但是它的断流能力较小,选择性差,熔体熔断后更换不方便,不能迅速恢复供电,因此,在要求供电可靠性较高的场所不宜用。

(3) 低压断路器保护。这种保护又称低压自动开关保护。由于低压断路器带有多种脱扣器,能够进行过电流、过负载、失电压和欠电压保护等,而且可作为控制开关进行操作,因此,在对供电可靠性要求较高且频繁操作的低压供电系统中广泛应用。

## 4. 继电保护的基本原理

供配电系统中具有各种各样的保护装置,但基本上都是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成,如图 4-24 所示。



图 4-24 继电保护装置基本组成框图

其中测量部分反映保护对象的各种电气参数,经过变换,送给逻辑部分,与整定值比较,作出判断,若判断有故障,则启动执行部分,发出操作指令,使断路器跳闸。

(1) 测量部分。测量部分测量被保护设备的某物理量,和保护装置的整定值进行比较,判断被保护设备是否发生故障,保护装置是否应该启动。

(2) 逻辑部分。逻辑部分根据测量部分输出量的大小、性质、出现的顺序,使保护装置按一定的逻辑关系工作,输出信号到执行部分。

(3) 执行部分。执行部分根据逻辑部分输出信号驱动保护装置动作,使断路器跳闸或发出信号。

## 4.2.2 常用保护继电器的类型与结构

继电器是组成继电保护装置的基本元件。继电器的特征是,当输入的物理量达到一定值时或某物理量——输入时就能自动动作。根据继电器反应的物理量分,有电流继电器、电压继电器、气体继电器等;根据继电器的工作原理分,有电磁式、感应式等;按其反应参量分有过电流继电器、过电压继电器、欠电压继电器等;按其与一次电路的联系分,有一次式和二次式。一次继电器的线圈是与一次电路直接相连的。二次式继电器的线圈连接在电流互感器或电压互感器的二次侧。继电保护中用的继电器都是二次式继电器。

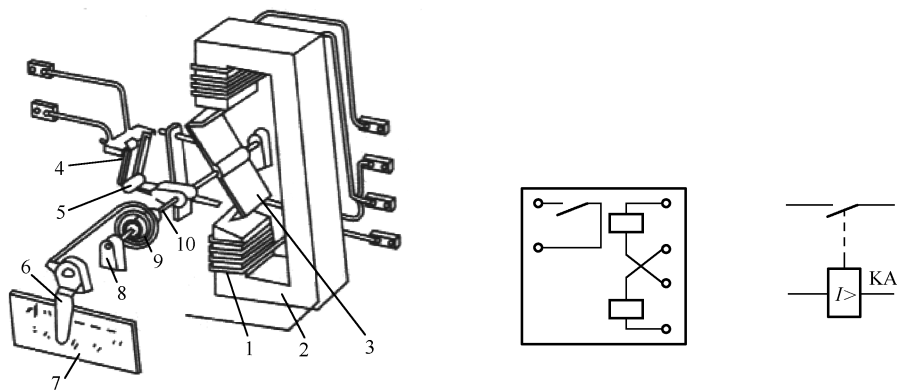
电磁式继电器是工厂企业运用较广泛的一类继电器。继电器的种类较多,有电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等。下面就工厂企业供电系统中常用的几种保护继电器接线介绍。

### 1. 电磁式继电器

电磁式继电器的基本原理都是相同的,它的结构主要由铁芯、衔铁、线圈、接点和弹簧组成,电磁式电流和电压继电器在继电保护装置中均为启动元件,属于测量元件。

#### 1) 电磁式电流继电器

如图 4-25 (a) 所示为 DL-10 系列电流继电器的结构图,图 4-25 (b) 是其内部接线图和图形符号(KA)。当线圈 1 上通以电流时将产生磁通,经过电磁铁 2、空气隙所组成的磁路,钢舌片 3 被电磁铁的磁场磁化,从而产生电磁力,电磁力克服轴 10 上的反力弹簧 9 的作用力,使钢舌片 3 转动一个角度吸近磁极,使常开接点闭合,常闭接点断开。当线圈上信号减小或消失时,电磁力产生的转矩不足以克服弹簧拉力和摩擦力所产生的阻力矩,即钢舌片 3 被弹簧拉回原来位置,继电器恢复到起始状态。



(a) DL-10系列电磁式电流继电器的结构

(b) 电磁式电流继电器内部接线与图形符号

1—线圈; 2—电磁铁; 3—钢舌片; 4—静触点; 5—动触点; 6—调整杆; 7—刻度盘; 8—轴承; 9—反力弹簧; 10—轴

图 4-25 DL-10 系列电磁式电流继电器结构

电流继电器常用的是 DL-10 系列,是过电流继电器,铁芯上绕有两个线圈,线圈可串联或并联接线。当线圈中的电流超过继电器的最小电流时,电流继电器的接点动作,这个最小电流称为继电器的动作电流,当线圈的电流减小到一定值时,钢舌片在弹簧的作用下返回起始位置所需的最大电流值,称为继电器的返回电流,继电器的返回电流与继电器的动作电流的比值称为返回系数,用  $K_{re}$  表示,即

$$K_{re} = \frac{I_{reKA}}{I_{opKA}} \quad (4-2)$$

式中  $I_{opKA}$ ——继电器的动作电流；

$I_{reKA}$ ——继电器的返回电流。

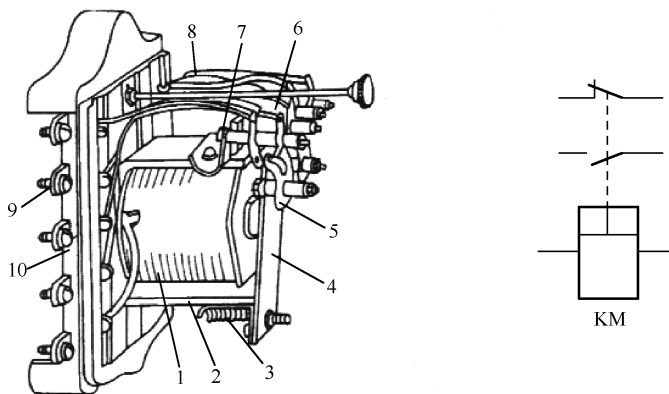
显然，过电流的返回系数小于 1，返回系数越大，继电器越灵敏，电磁式电流继电器的返回系数一般为 0.85。

## 2) 电磁式电压继电器

电压继电器与电流继电器的结构基本相同，只是电压继电器的线圈为电压线圈，匝数多，导线细，多做成欠电压继电器。正常工作时，电压继电器的接点动作，当电压低于它的整定值时，继电器会恢复起始位置。低压继电器的返回系数  $K_{re}$  大于 1，越接近 1，越灵敏，一般取 1.25。电压继电器的文字符号为 KV。

## 3) 电磁式中间继电器

中间继电器的触点容量较大（5~10A），触点数量较多（一般有 8 对）。当电压继电器、电流继电器的触点容量不够时，可以利用中间继电器作为功率放大，当继电器的触点数量不够时，利用中间继电器增加触点数量以控制多条回路。所以说中间继电器的作用是增加触点的数目或重大触点的容量。工厂企业供电系统中常用的是 DZ-10 系列，结构如图 4-26（a）所示。当线圈 1 通电时，衔铁 4 吸向电磁铁，使触点动作，常开触点闭合，常闭触点断开。当线圈断电时，衔铁释放，触点返回起始位置。中间继电器的图形文字符号如图 4-26（b）所示。



(a) DL-10系列中间继电器结构

(b) 电磁式中间继电器图形符号

1—线圈；2—电磁铁；3—弹簧；4—衔铁；5—动触点；6、7—静触点；8—连线；9—接线端子；10—底座

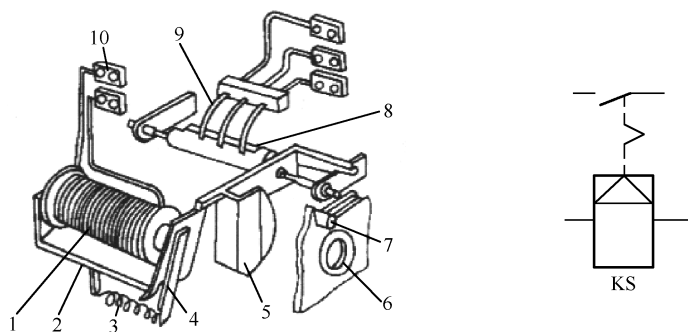
图 4-26 DZ-10 系列中间继电器结构

## 4) 电磁式信号继电器

信号继电器是在继电保护装置中的作用是用来发出指示信号的。常用的是 DX-11 型电磁式信号继电器，结构如图 4-27（a）所示。

当信号继电器线圈 1 通电时衔铁 4 被吸向铁芯，信号牌 5 失去衔铁的支撑，靠自重掉下，显示动作信号，随着信号牌转动带动转轴旋转，使转轴上的动触点 8 与静触点 9 接通，利用其接点接通其他的信号回路。信号继电器有电流型和电压型两种，电流型信号继电器的线圈为电流线圈，串联在回路中；电压型信号继电器的线圈为电压线圈，并联在回路中，信号继电器的

图形文字符号如图 4-27 (b) 所示。



(a) DX-11 型信号继电器结构

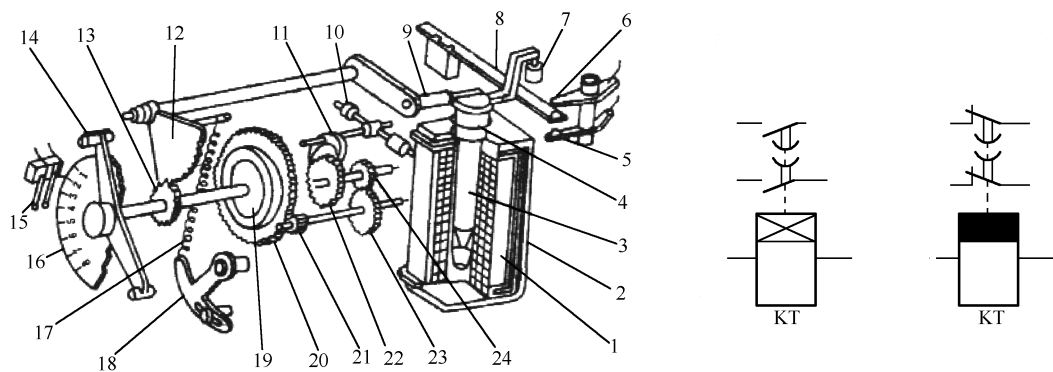
(b) 电磁式信号继电器图形符号

1—线圈；2—电磁铁；3—弹簧；4—衔铁；5—信号牌；6—玻璃窗孔；7—复位按钮；8—动触点；9—静触点；10—接线端子

图 4-27 DX-11 型信号继电器结构

### 5) 电磁式时间继电器

时间继电器在继电保护装置中的作用是用来保护装置获得所需要的延时。常用的是 DS110 (用于直流)、DS120 (用于交流) 系列, 结构如图 4-28 (a) 所示。当时间继电器的线圈接上工作电压时, 可动铁芯 3 被吸入, 压杆 9 失去支持, 瞬时触点 6、8 断开, 5、8 接通。扇形齿轮 12 在拉引弹簧 17 的作用下顺时针转动, 通过传动齿轮 13 使延时的主动触点 14 开始转动, 同时摩擦离合器 19 带动钟表机构, 只转动一定角度, 经过一定的时间, 继电器的主触点动作。当线圈失电后, 在返回弹簧 4 的作用下, 通过压杆 9 使扇形齿轮 12 复原, 离合器和钟表机构复原, 所有触点复原。



(a) DS110、DS120 系列时间继电器结构

(b) 电磁式时间继电器  
图形符号 (带延时  
闭合触点)

(c) 电磁式时间继电器  
图形符号 (带延时  
断开触点)

1—线圈；2—电磁铁；3—可动铁芯；4—返回弹簧；5、6—瞬时静触点；7—绝缘件；8—瞬时动触点；9—压杆；

10—平衡锤；11—摆动卡板；12—扇形齿轮；13—传动齿轮；14—主动触点；15—主静触点；16—刻度盘；

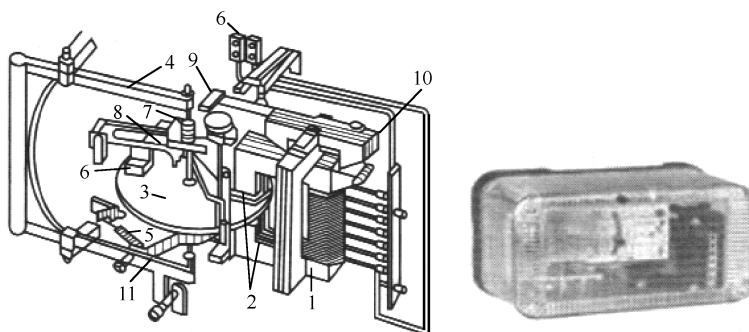
17—拉引弹簧；18—弹簧拉力调节器；19—摩擦离合器；20—主动轮；21—小齿轮；22—掣轮；23、24—中表机构传动齿轮

图 4-28 DS110、DS120 系列时间继电器结构

为了缩小继电器的尺寸，一般时间继电器线圈按短时通电设计。如果要长期接上电压，应在继电器动作后，在线圈回路中串入电阻，以限制线圈的电流，以免线圈过热烧毁。电阻在时间继电器未动作时利用继电器的瞬时常闭接点短接，继电器动作后，该接点断开将电阻串接在线圈回路中，时间继电器的图形文字符号如图 4-28 (b) 和 (c) 所示。

#### 6) 感应式电流继电器

感应式电流继电器常用的型号是 GL10、GL20 系列，它属于测量元件，广泛应用于反时限的继电保护中。GL 型电流继电器实际上由感应部分和电磁部分构成，感应部分带有反时限特性，而电磁部分是瞬时动作的，结构如图 4-29 所示。电磁元件由线圈 1、带有短路环的电磁铁 2 和衔铁 10 组成。感应元件由线圈 1、电磁铁 2 和铝盘 3 组成。



1—线圈；2—电磁铁；3—铝盘；4—可偏转框架；5—调节弹簧钢片；6—触点；  
7—扇形齿轮与杆；8—永久磁铁；9—调整螺钉；10—衔铁；11—钢片

图 4-29 感应式电流继电器的内部结构及其实物图

当继电器的线圈中通过电流时，电磁铁在无短路环的磁极内产生磁通  $\Phi_1$ ，在带短路环的磁极内产生磁通  $\Phi_2$ 。两个磁通作用于铝盘，产生转矩  $M_1$ ，使铝盘开始转动。同时铝盘转动切割永久磁铁 8 的磁通，在铝盘上产生涡流，涡流与永久磁铁的磁通作用，又产生一个与转矩  $M_1$  方向相反的制动力矩  $M_2$ 。当铝盘转速增大到某一定值时， $M_1=M_2$ ，这时铝盘匀速转动。

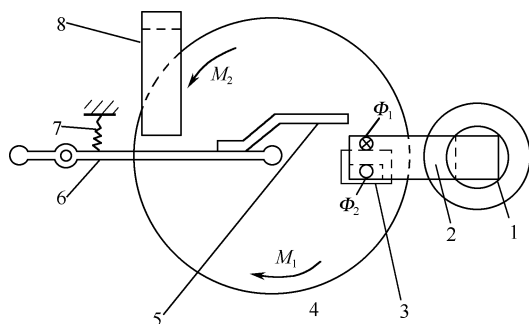
继电器的铝盘在上述  $M_1$  和  $M_2$  的作用下，铝盘受力有使框架 4 绕轴顺时针偏转的趋势，但受到弹簧 5 的阻力，当通过继电器的线圈中的电流增大到继电器的动作电流时，铝盘受力增大，克服弹簧阻力，框架顺时针偏转，铝盘前移，使蜗杆 7 与扇形齿轮啮合，这就称为继电器的感应系统动作。

由于铝盘转动，扇形齿轮沿着蜗杆上升，最后使继电器触点 6 (图 4-29) 闭合，同时信号牌掉下，从观察孔中可看到红色的信号指示，表示继电器已动作。从继电器感应系统动作到触点闭合的时间就是继电器的动作时限。感应电流继电器铝盘受力示意图如图 4-30 所示。

继电器线圈中的电流越大，铝盘转动越快，扇形齿轮上升速度也越快，因此，动作时限越短。这就称为感应式电流继电器的“反时限”特性。

当继电器线圈中的电流继续增大时，电磁铁中的磁通逐渐达到饱和，作用于铝盘的转矩不再增大，使继电器的动作时限基本不变。这一阶段的动作特性称为定时限特性。

当继电器线圈中的电流进一步增大到继电器的速断电流整定值时，电磁铁 2 瞬时将衔铁 8 吸下，触点闭合，同时也使信号牌掉下。这是高压式继电器的速断特性。继电器电磁系统的速断动作电流与继电器的感应系统动作电流之比，称为速断倍数，用  $n_{qb}$  表示。



1—线圈；2—电磁铁；3—短路环；4—铝盘；5—钢片；6—铝钢片；7—调节弹簧；8—制动电磁铁

图 4-30 感应式电流继电器铝盘受力示意图

感应式电流继电器的这种有一定限度的反时限动作特性，称为“有限反时限特性”。综上所述，感应式电流继电器具有前述电磁式电流继电器、时间继电器、信号继电器、中间继电器的功能，从而使继电保护装置使用元件少、接线简单，在供配电系统中得到广泛应用。

### 4.2.3 电流互感器与电流继电器的接线方式

#### 1. 电流互感器与电流继电器的接线方式

电流互感器反应主电路电流情况，是保护装置可靠工作的前提，为了解决这一问题必须了解继电器和互感器的接线方式。电流互感器与电流继电器之间的接线主要有三种形式，即三相三继电器的三相星形接线（简称三相式接线）、两相两继电器的两相星形接线（简称为两相式接线）、两相一继电器的两相差式接线（简称两相差式接线），下面分别进行介绍。

##### 1) 三相三继电器接线

三相三继电器接线方式如图 4-31 所示。在被保护线路的每一相上都装有电流互感器和电流继电器，分别反映每相电流的变化。这种接线方式，对各种形式的短路故障都有反映。当发生任何形式的相间短路时，最少有两个电流互感器二次侧的继电器中流过故障相对应的二次故障电流，故至少有两个继电器动作。

在中性点直接接地系统中，当发生单相接地时，有一相流过短路电流，只流过接在故障相电流互感器二次侧的继电器动作。

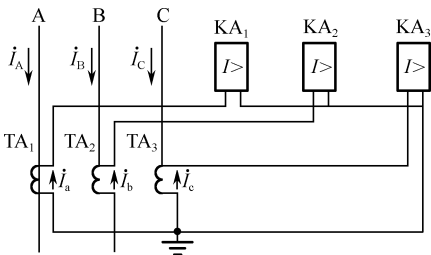


图 4-31 三相三继电器星形接线方式

由上述讨论可见，三相三继电器式接线方式，发生任何形式的短路时，都有相应的二次故障电流流入继电器，因此，可以保护各种形式的相间短路和单相接地短路故障。但是这种接线方式所用设备较多，接线较复杂，因此，主要用于接地电流系统中的保护。

##### 2) 两相两继电器接线

两相两继电器接线方式如图 4-32 所示。此种接线的接线系数  $K_W=1$ 。

这种接线方式能反映三相短路和两相短路。当一次电路发生三相或任意两相电路时，都至少有一个继电器动作，从而使一次电路的断路器跳闸。单相短路若发生在未装电流互感器的一相时，故障电流反映不到继电器线圈，如图 4-32 (a) 中 B 相接地时保护装置不能动作。可见两相式接线能保护各种相间短路，但不能完全反映单相短路和两相接地短路。但由于本接线方

式只用了两个电流互感器和两个继电器，接线简单，所用设备较少，在 6~10kV 小接地短路电流系统中广泛应用。在这样的系统中，单相接地只是一种不正常的运行方式，并不需要跳闸。

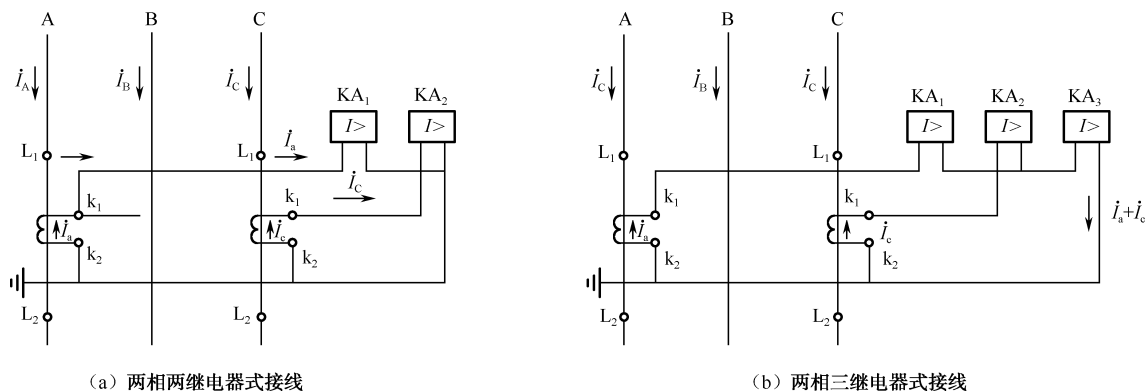


图 4-32 两相两继电器接线方式

两相三继电器接线实际上是在两相两继电器接线的公共中线上接入第三个继电器，流入该继电器的电流为流入其他两个继电器电流之和，这一电流在数值上与第三相（即 B 相）电流相等，这样就使保护的灵敏度提高了，如图 4-27（b）所示。

### 3) 两相差式接线

两相差式接线方式如图 4-33 所示。这种接线方式中，电流互感器通常接在 A 相和 C 相，继电器中流入的电流为两相电流之差，即  $i_{KA} = i_a - i_c$ ，因此，又称两相电流差式接线。

在其一次电路发生三相电路时，流入继电器的电流为电流互感器二次电流的  $\sqrt{3}$  倍，即  $K_W = \sqrt{3}$ 。

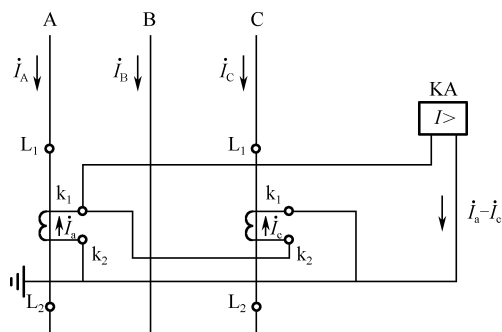


图 4-33 两相差式接线方式

在其一次电路的 A、C 两相发生电路短路时，流入继电器的电流（两相电流差）为电流互感器二次电流的 2 倍，即  $K_W = 2$ 。

在其一次电路的 A、B 两相或 B、C 两相发生短路时，流入继电器的电流只有一相（A 相或 C 相）电流互感器的二次电流，即  $K_{W(A,B)} = K_{W(B,C)} = 1$ 。

此种接线能反映所有相间短路，而不能完全反映单相短路和两相接地短路。但保护灵敏度有所不同，有的甚至相差一倍，因此，不如两相式接线。但它接线简单，使用继电器最少，可以作为 10kV 及以下工厂企业的高压电动机保护。

工厂高压线路的继电保护装置中,继电器与电流互感器之间的连接方式,应用较广泛的是两相式接线两种差式接线。

## 2. 继电保护装置的操作电源

继电保护装置、信号装置及断路器操作机构等都需要有一个可靠的电源,即操作电源。它应能在正常或故障情况下向这些装置不间断地供电。

继电保护装置的操作电源,分为直流操作和交流操作电源。

直流操作电源有蓄电池组硅整流装置。现在工厂企业的变配电所大多采用硅整流装置(一般带有电容储能装置)作直流操作电源。交流操作电源具有投资少,保护装置接线简单,运行维护方便等优点,因此,在中小型工厂中广泛应用。

交流操作电源继电保护的操作方式如下:

(1) 直接动作式。如图 4-34 所示,是利用断路器操作机构内的过流脱扣器(跳闸线圈) YR 直接动作于跳闸,可接成两相式或两相差式接线。正常运行时, YR 流过的电流小于 YR 的动作电流,因而不动作。而当一次登录方式相间短路时,短路电流反映到电流互感器的二次侧,流过 YR 的电流达到动作值。使断路器 QF 跳闸。这种接线不另设继电器,设备最少,接线简单,但由于受脱扣器型号的限制,实际很少使用。

(2) 去分流式。如图 4-35 所示,正常运行时,电流继电器 KA 的常闭接点将跳闸线圈 YR 短路, YR 无电流流过,断路器 QF 不会跳闸。而在一次电路发生相间电路时, KA 动作,其常闭触点断开,使 YR 的短路分流支路被去掉(即“去分流”),电流互感器的二次侧的电流全部流过 YR,断路器跳闸。这种接线简单,灵敏度较高,但要求继电器的触点容量较大,对于 GL15、GL16 的反时限的电流继电器完全能达到要求。因此,这种去分流跳闸的操作方式在工厂企业中应用相当广泛。

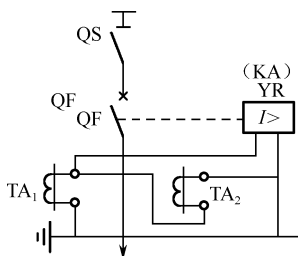


图 4-34 直接动作式保护电路

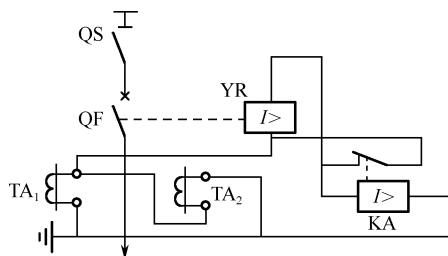


图 4-35 “去分流”式保护电路

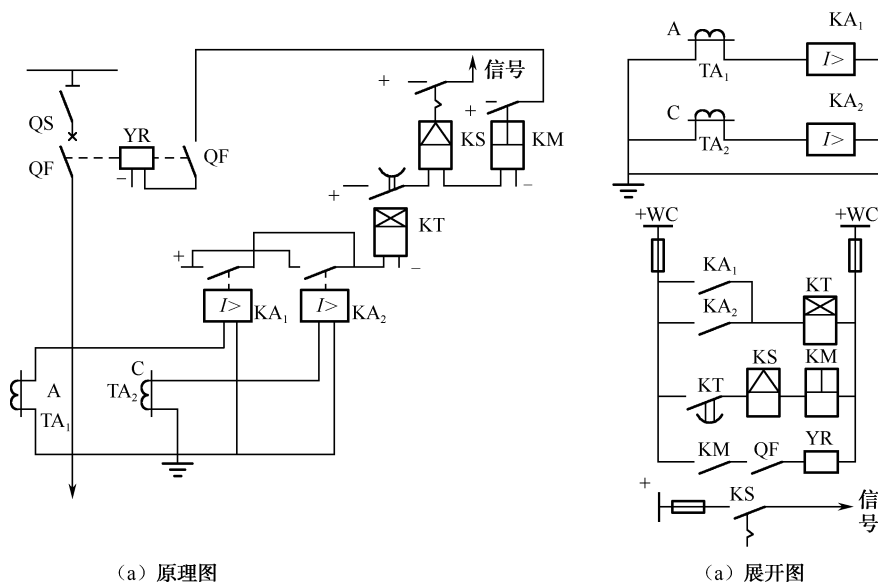
## 3. 线路过电流保护

在供电系统中发生短路时,线路上的电流剧增。因此,必须设置过电流保护装置,对供电线路进行保护。为了具有选择性,过电流保护通常应有一定的时限。按动作的时限特性,过电流保护装置分为定时限过电流保护和反时限过电流保护。

### 1) 定时限过电流保护装置的接线和工作原理

定时限过电流保护装置,就是保护装置的动作时限是一定的,不随通过保护装置电流大小的变化而变化。定时限过电流保护装置采用直流操作电源,原理接线图和展开图如图 4-36 所示。所有元件的组成部分都集中表示,称为原理图,如图 4-36 (a) 所示;所有元件的组成部分按所属回路分开表示,称为展开图,如图 4-36 (b) 所示。展开图简明清晰,广泛应用于二次回路图。





QF—断路器；TA—电流互感器；KA—电流继电器；KT—时间继电器；KS—信号继电器；KM—中间继电器；YR—跳闸线圈

图 4-36 定时限过电流的原理图和展开图

当一次线路发生短路时，通过线路的短路电流使流经继电器的电流大于继电器的动作电流，电流继电器 KA 瞬时动作，其常开触点闭合，时间继电器 KT 线圈得电，其触点经一定延时后闭合，使中间继电器 KM 和信号继电器 KS 动作。KM 的常开触点闭合，接通断路器跳闸线圈 YR 回路，断路器 QF 跳闸，切除短路故障线路。KS 动作，其指示牌掉下，同时其常开触点闭合，启动信号回路，发出灯光和音响信号。

## 2) 反时限过电流保护装置的接线和工作原理

反时限过电流保护装置的原理图和展开图如图 4-37 所示，它由 GL 型感应式电流继电器组成，该继电器具有反时限特性，动作时限与短路电流大小有关，短路电流越大，动作时限越短。图中所示的反时限过电流保护采用交流操作的“去分流跳闸”原理。正常运行时，跳闸线圈被继电器的常闭触点短路，电流互感器二次侧电流经继电器线圈及常闭触点构成回路，保护不动作。当线路发生短路时，继电器动作，其常闭触点打开，电流互感器二次侧电流流经跳闸线圈，断路器 QF 跳闸，切除故障线路。

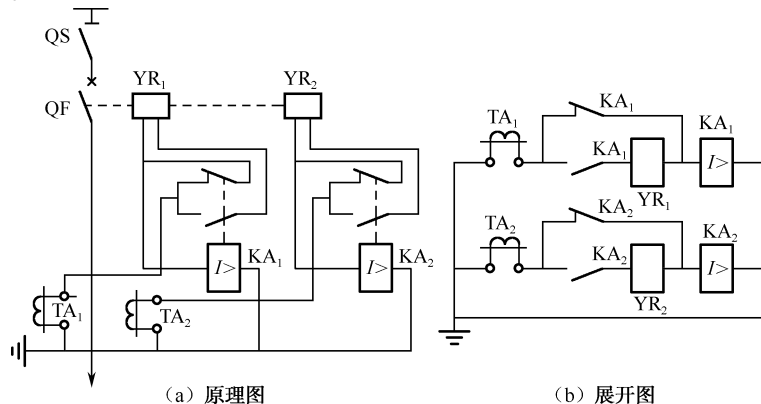


图 4-37 交流操作的反时限过电流保护装置的原理图和展开图

### 3) 过电流保护动作电流整定及保护灵敏度校验

动作电流整定:

带时限过电流保护, 包括定时限和反时限两种动作电流  $I_{OP}$ , 是指继电器动作的最小电流。过电流保护的動作电流整定, 必须满足下面两个条件。

(1) 为避免在最大负荷通过时保护装置误动作, 过电流保护的動作电流整定应躲过线路的最大负荷电流 (包括正常过负荷电流和尖峰电流)  $I_{Lmax}$ 。

(2) 为保证保护装置在外部故障切除后, 能可靠返回原始位置, 防止发生误动作, 保护装置的返回电流  $I_{re}$  也应该躲过线路的最大负荷电流  $I_{Lmax}$ 。为说明这一点, 现以图 4-38 为例来阐述。当线路  $WL_2$  的首端  $K$  发生短路时, 由于短路电流远远大于正常最大负荷电流, 所以沿线路的过电流保护装置  $KA_1$ 、 $KA_2$  都要启动。在正确电阻情况下, 应该是靠近故障点  $K$  的保护装置  $KA_2$  首先断开  $QF_2$ , 切除故障与线路  $WL_2$ , 这时继电保护装置  $KA_1$  应返回, 使  $WL_1$  仍能正常运行。若  $KA_1$  在整定时其返回电流未躲过线路  $WL_1$  的最大负荷电流, 即  $KA_1$  的返回系数过低时, 则  $KA_2$  切除  $WL_2$  后,  $WL_1$  虽然恢复正常运行, 但  $KA_1$  继续保持启动状态 (这是因为  $WL_1$  在  $WL_2$  切除后, 还有其他出线, 因此还存在负荷电流), 从而达到它所整定的时限 ( $KA_1$  的动作时限比  $KA_2$  的动作时限长) 后, 必将错误地断开  $QF_1$ , 造成  $WL_1$  停电, 扩大了故障停电范围, 这是不允许的。所以保护装置的返回电流必须躲过线路的最大负荷电流。

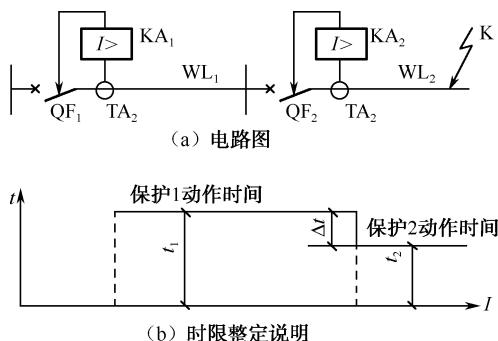


图 4-38 定时限过电流保护时限整定计算说明图

线路的最大负荷电流  $I_{Lmax}$  应根据线路实际的过负荷情况来定, 特别是尖峰电流, 包括电动机的自启动电流。

设电流互感器的变比  $K_i$ , 保护装置的接线系数为  $K_W$ , 保护装置的返回系数为  $K_{re}$ , 则负荷电流换算到继电器中的电流为  $K_W I_{Lmax} / K_i$ 。由于要求继电器的返回电流  $I_{re}$  也要躲过  $I_{Lmax}$ , 即  $I_{re} > K_W I_{Lmax} / K_i$ 。而  $I_{re} = K_{re} I_{op}$ , 因此  $I_{re} I_{op} > K_W I_{Lmax} / K_i$ , 也就是  $I_{op} > K_W I_{Lmax} / K_i K_{re}$ 。

将此式写成等式, 计入一个可靠系数  $K_{rel}$ , 由此可得到过电流保护动作电流整定公式, 即

$$I_{op} = \frac{K_{rel} K_W}{K_{re} K_i} I_{Lmax} \quad (4-3)$$

式中  $K_{rel}$ ——保护装置的可靠系数, 对 DL 型继电器可取 1.2; 对 GL 型继电器可取 1.3;

$K_W$ ——保护装置的接线系数, 按三相短路来考虑, 对两相两继电器接线为 1; 对两相一继电器接线或两相电流差式接线均为  $\sqrt{3}$ ;

$I_{Lmax}$ ——含尖峰电流的线路最大负荷电流, 可取 1.5~3 倍的  $I_{30}$ ,  $I_{30}$  为线路计算电流。

如果用断路器手动操作机构中的过电流脱扣器作用过电流保护, 则脱扣器动作电流应按下式整定, 即

$$I_{op} = \frac{K_{rel} K_W}{K_i} I_{Lmax} \quad (4-4)$$

式中  $K_{rel}$ ——保护装置的可靠系数, 可取 2~2.5, 这里已考虑了脱扣器的返回系数。

**例 4-1** 某高压线路的计算电流为 100A，线路末端的三相短路电流为 1200A。现采用 GL15/10 型电流继电器，短路保护中，继电器采用两相差式接线形式，电流互感器变流比为 320/5。试整定此短路保护中电流继电器的动作电流。

**解：**取  $K_{re}=0.8$ ， $K_W=\sqrt{3}$ ， $K_{rel}=1.3$ ， $I_{Lmax}=2I_1=2\times 100A=200A$ 。再由式（4-3）得

$$I_{op} = \frac{K_{rel}K_W}{K_{re}K_i} I_{Lmax} = \frac{1.3 \times \sqrt{3}}{0.8 \times (320/5)} \times 200 \approx 8.795A$$

即此继电器的动作电流可取为整数 9A。

## 4.2.4 速断保护的组成和原理

从以上分析可知，带时限的过电流保护有一个明显的缺点，就是在越靠近电源电路时，尽管短路电流很大，而保护装置的动作时间却很长，为了克服这一缺点，可以采用电流速断保护装置。

### 1. 电流速断保护装置的组成及整定

电流速断保护装置实际上就是一种瞬时动作的过电流保护。其动作时限仅仅为继电器本身的固有动作时间，它的选择性不是依靠时限，而是依靠选择适当动作电流来解决。

通过提高过电流保护的整定值来限制保护动作范围，从而使靠近电源侧的保护可以不加时限动作的保护称为速断过电流保护。图 4-39 所示为定时限过电流保护和电流速断保护接线图。其中定时限过电流保护和电流速断保护共用一套电流互感器和中间继电器，电流速断保护还单独使用电流继电器  $KA_3$  和  $KA_4$ ，信号继电器  $KS$ 。

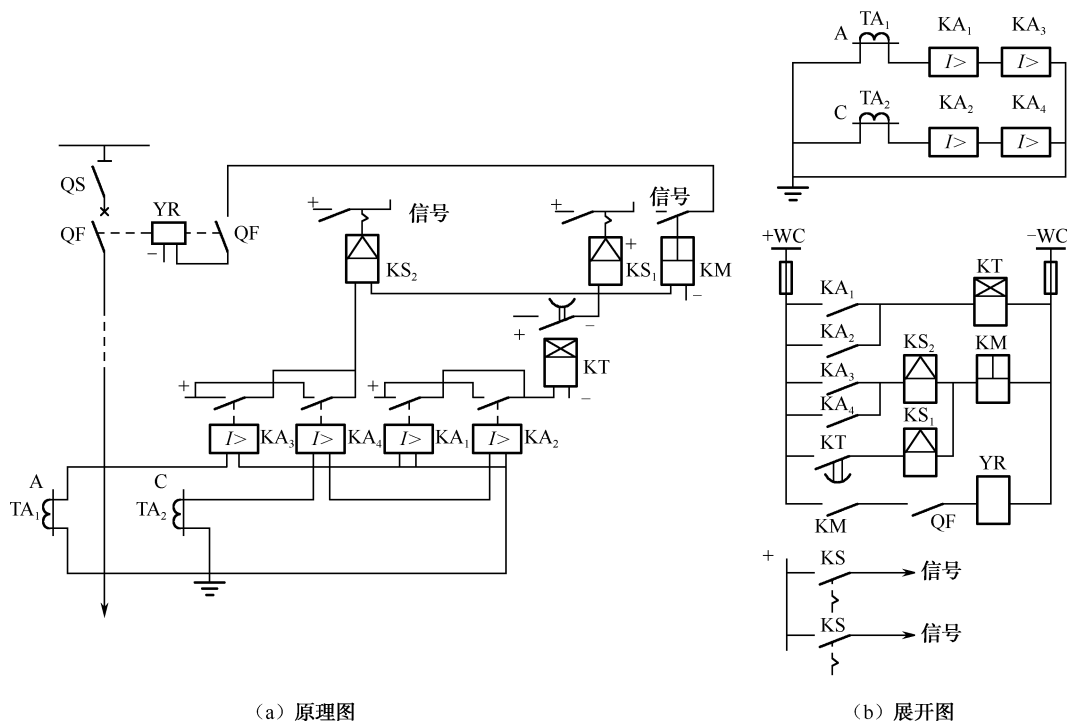


图 4-39 定时限过电流保护和电流速断保护接线图

当线路发生短路，流经继电器的电流大于电流速断的动作电流时，电流继电器动作，其常开触点闭合，接通信号继电器  $KS_2$  和中间继电器  $KM$  回路， $KM$  动作使断路器跳闸， $KS_2$  动作

表示电流速断保护动作，并启动信号回路，发出灯光和音响信号。

由于电流速断保护动作不带时限，为了保证速断保护动作的选择性，在下一级线路首端发生最大短路电流时电流速断保护不应动作，即速断保护动作电流  $I_{op1} > I_{K.max}$ ，从而，速断保护继电器的动作电流整定值为

$$I_{op.KA} = \frac{K_{rel} K_W}{K_i} I_{K.max} \quad (4-5)$$

式中  $I_{op.KA}$ ——速断电流；

$K_{rel}$ ——为可靠系数，对 DL 型继电器取 1.2~1.3，GL 型继电器取 1.4~1.5；

$K_W$ ——为接线系数；

$K_i$ ——为电流互感器变比；

$I_{K.max}$ ——被保护线路末端短路时最大三相短路电流。

由上式可求得动作电流整定值。对 GL 型电流继电器，还要整定速断动作电流倍数，即

$$n_{qb} = \frac{I_{op.KA(qb)}}{I_{op.KA(oc)}} \quad (4-6)$$

式中  $I_{op.KA(qb)}$ ——为电流速断保护继电器动作电流整定值；

$I_{op.KA(oc)}$ ——为过电流保护继电器动作电流整定值。

## 2. 电流速断保护的“死区”及其弥补

显然，电流速断保护的動作电流大于线路末端的最大三相短路电流，所以，电流速断保护不能保护线路全长，只能保护线路的一部分，线路不能被保护的部分称为保护死区，线路能被保护的部分称为保护区。

由于电流速断的動作电流是按躲过线路末端的最大短路电流来整定的，因此，在靠近线路末端的一段线路上发生的不一定是最大的短路电流。例如，为两相短路电流时，电流速断保护装置就不可能动作，也就是说，电流速断保护实际上不能保护线路全长。这种保护不到的区域称为“死区”，如图 4-40 所示。

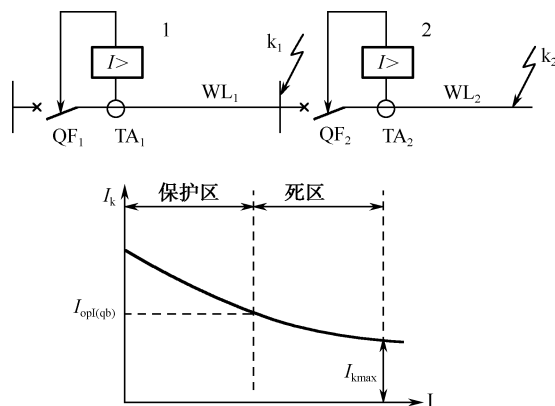


图 4-40 电流速断保护区说明

为了弥补速断保护存在死区的缺陷，一般规定，凡装设电流速断保护的线路，都必须装设带时限的过电流保护。而且，过电流保护的動作时间比电流速断保护至少长一个时间级差  $\Delta t = 0.5 \sim 0.7s$ ，前后级过电流保护的動作时间符合前面所说的“阶梯原则”，以保证选择性。

在速断保护区内，速断作为主保护，过电流保护作为后备保护；而在电流速断保护的死区内，则过电流保护为基本保护。

电流速断保护的灵敏度，按规定其保护装置安装处的最小短路电流可作为校验值，即电流速断保护的灵敏度必须满足条件，即

$$S_p = \frac{K_w I_k^{(2)}}{K_i I_{qb}} \geq 1.5 \sim 2$$

式中  $I_k^{(2)}$ ——线路首端在系统最小运行方式下的两相短路电流。

在图 4-41 (a) 原理图中， $KA_1$ 、 $KA_2$  为定时限过电流保护继电器， $KA_3$ 、 $KA_4$  为电流速断保护继电器。在速断保护的范围内发生短路时，由速断保护继电器动作，瞬时跳闸；在线路末端发生短路时，则由过电流保护继电器动作。

## 实操训练 8 各种继电器的认识和实训

### 1. 技能实训目的要求

观察各种继电器的结构，掌握电磁式电流继电器的动作值和返回值的检验方法。

### 2. 实训仪器仪表

各种电磁式电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器及 GL-10 型继电器；万用表、电压表、401 型秒表；滑线变阻器、刀开关等。

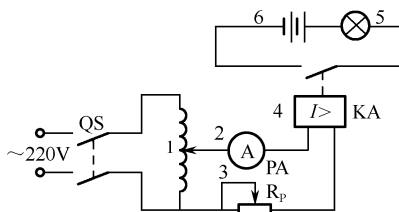
### 3. 实训内容

(1) 观察以上各种继电器结构。

(2) 电磁式电流继电器动作值、返回值的检验与调整。

### 4. 实训电路，步骤与方法

(1) 实训电路，如图 4-41 所示。



1—自耦调压器；2—电流表；3—限流电阻器；4—电流继电器；5—指示灯；6—电池

图 4-41 电磁式电流继电器实训实验电路图

### (2) 实训步骤与方法。

① 按实训实验电路图接线，将调压器指在零位，限流电阻器调到阻值最大位置。

② 将继电器中两个线圈串联，并将其调整指针置于最小刻度，根据整定电流选择好电流表的量程。

③ 动作电流的测定。先经老师查线无误后，再合上开关 QS，调节调压器及滑线变阻器使回路中的电流逐渐增加，直至动合触点刚好闭合灯亮为止，此时电流表的指示值即为继电器在该整定值下的动作电流值，记录电流的指示值于表 4-11 中。动作值与整定值之间的误差  $\Delta I\%$  不应超过继电器规定的允许值。

④ 返回电流的测定。先使继电器处于动作状态，然后缓慢平滑地降低通入继电器线圈的

电流,使动合触点刚好打开,此时灯熄灭,电流表的读数即为继电器在该整定值下的返回电流值,记录电流表的指示值于表 4-11 中。

⑤ 对每一动作电流的整定值,返回电流重复测定 3 次取其平均值,作为该整定点的动作电流的返回电流。

⑥ 将继电器调整把手放在其他刻度上,重复③、④、⑤步骤,测得继电器在不同整定值时的动作电流和返回电流值,将实训数据填入表 4-11 中。

⑦ 将继电器线圈改成并联,重复③、④、⑤步骤,检测在其他整定值时的动作电流和返回电流值。

(3) 实训记录。将上述要求的内容填入实训记录表 4-11。

表 4-11 实训数据记录表

序号	线圈连接	动 作 电 流					返 回 电 流					返回系数
		1	2	3	平均	$\Delta/\%$	1	2	3	平均	$\Delta/\%$	
1	串联											
2												
3												
4	并联											
5												
6												

## 5. 注意事项

(1) 继电器线圈有串联和并联两种连接方法,刻度盘所标刻度值为线圈串联时的动作整定值,并联使用时,其动作整定值=刻度值 $\times 2$ 。

(2) 读取数据要准确,动作电流是使继电器动作的最小电流值。返回电流是使继电器返回连接点打开的最大电流值。

(3) 在检测动作电流或返回电流时,要平滑单方向调整电流数值。

(4) 每次实训实验完毕应将调压器调至零位,然后打开电源开关。

## 4.2.5 问题与思考

1. 什么是电流继电器的动作电流?什么是返回电流?
2. 什么是继电保护装置?其用途是什么?
3. 分析本技能实训中的实验结果是否符合要求。
4. 你能说明 GL-10 型继电器中各符号的含义吗?
5. 供配电系统继电保护的基本要求有哪些?什么是选择性动作?什么是灵敏度?
6. 为什么电流速断保护有的带时限,有的不带时限?
7. 为什么要求继电器的动作电流和返回电流均应躲过线路的最大负荷电流?
8. 什么是速断保护?速断保护与过流保护有什么区别?

## 任务3 微机保护的检验与调试

### 【任务描述】

计算机技术的飞速发展给继电保护带来了技术突破和应用领域的革命。新型的微机保护由于具有灵敏度高、可靠性好、调试维护方便、接线简单、能大量节约连接电缆经济性好等诸多优点,并同时具有故障录波、故障测距、故障诊断分析、显示、报表打印及功能自检等附加功能,目前,已广泛应用于电力系统,从而取代了传统的继电保护装置成为保护系统的绝对主角。

本任务通过学习微机保护的原理与结构特点,了解微机保护的功能,熟悉硬件组成和软件流程,学会检验和调试微机保护自动装置。

### 【知识链接】

#### 4.3.1 微机保护的现状和发展

供配电系统电压等级较低,结构相对简单,主要是单端供电或双端供电,因而其保护也简单,除采用熔断器保护外,主要采用由电磁式或感应式继电器构成电流保护。这种常规的模拟式继电保护难以满足系统对高可靠性保护的要求,主要表现在以下方面:

- ① 没有自诊断功能,元件损坏不能及时发现,易造成严重后果。
- ② 动作速度慢,一般超过 0.02s。
- ③ 定值整定和修改不便,准确度不高。
- ④ 难以实现新的保护原理或算法。
- ⑤ 体积大、元件多、维护工作量大。

微机保护充分利用和发挥微型控制器的存储记忆、逻辑判断和数值运算等信息处理功能,克服模拟式继电保护的不足,获得好的保护特性和更高的技术指标。20 世纪 60 年代末 70 年代初,美国、澳大利亚等国学者开始研究微机保护。其后,微机保护得到迅速发展,20 世纪 80 年代末供配电系统微机保护开始得到工业应用。以后,供配电系统微机保护由初期的微机继电器发展到以保护为核心的具有多种综合功能的微机保护盒测控装置。目前,国外和国内不少厂商生产此类产品。如通用电气公司生产的微机配电保护系统、南京自动化研究院生产的 ISA-1 微机保护装置、许昌继电器集团生产的 WBK-1 型微机保护装置等。这类供配电系统微机保护装置一般都具有测量、保护重合闸、事件记录、通信等功能。

#### 4.3.2 微机保护的功能及微机保护装置的硬件系统及软件系统

##### 1. 微机保护的功能

###### 1) 保护功能

微机保护装置的保护有定时限过电流保护、反时限过电流保护、带时限电流速断保护、瞬时电流速断保护。反时限过电流保护还有标准反时限、强反时限和极强反时限保护等几类。以上各种保护方式可供用户自由选择,并进行数字设定。

## 2) 测量功能

供配电系统正常运行时, 微机保护装置不断测量三相电流, 并在 LCD 液晶显示器显示。

## 3) 自动重合闸功能

当上述保护功能动作, 断路器跳闸后, 该装置能自动发出合闸信号, 即自动重合闸功能, 以提高供电可靠性。自动重合闸功能为用户提供自动重合闸的重合次数、延时时间及自动重合闸是否投入运行的选择和设定。

## 4) 人机对话功能

通过 LCD 液晶显示器和简洁的键盘提供良好的人机对话界面。

## 5) 自检功能

为了保证装置可靠工作, 微机保护装置具有自检功能, 对装置的有关硬件和软件进行开机自检和运行中的动态自检。

## 6) 事件记录功能

发生事件的所有数据如日期、时间、电流有效值、保护动作类型等都存在存储器中。事件包括事故跳闸事件、自动重合闸事件、保护定值设定事件等, 可保存多达 30 个事件, 并不断更新。

## 7) 报警功能

报警功能包括自检报警、事故报警等。

## 8) 断路器控制功能

各种保护动作和自动重合闸的开关量输出, 控制断路器的跳闸和合闸。

## 9) 通信功能

微机保护装置与中央控制室的监控微机进行通信, 接收命令和发送有关数据。

## 10) 实时时钟功能

实时时钟功能能自动生成年月日和时分秒, 最小分辨率为毫秒, 有对时功能。

## 2. 微机保护装置的硬件结构

根据供配电系统微机保护的功能要求, 微机保护装置的硬件结构框图如图 4-42 所示。它由数据采集系统, 微型控制器、存储器、显示器、键盘、时钟、通信、控制盒信号等部分组成。

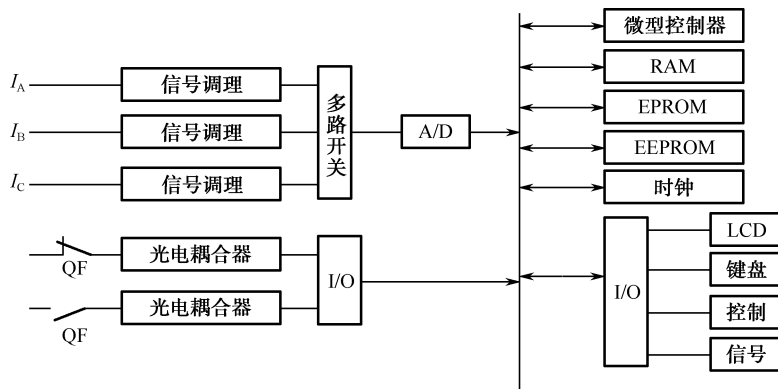


图 4-42 供配电系统微机保护装置硬件结构框图



数据采集系统主要对模拟量三相电流和开关量（断路器辅助触点）等采样。模拟量经信号调理、多路开关、A/D 转换器送入微控制器，开关量经光电隔离、I/O 接口送入微控制器。A/D 转换器一般采用 10~12 位 A/D 转换器。微型控制器通常采用 16 位 CPU，如 80196 系列。存储器包括 EPROM、RAM、EEPROM。EPROM 存放程序、表格、常数；RAM 存放采样数据、中间计算数据等，EEPROM 存放定值、事件数据等。时钟目前均采用硬件时钟，如 DS1302 时钟芯片。它能自动产生年、月、日和时、分、秒，并可对时。显示器可采用点阵字符型和点阵图形型 LCD 显示器，目前，常采用后者，用于设定显示、正常显示、事故显示等。键盘已由早期的矩阵式键盘改用独立式键盘，通常设左移、右移、增加减小、进入等键。开关量输出主要控制信号、指示信号和报警信号。

### 3. 微机保护装置的软件系统

微机保护装置的软件系统一般包括设定程序、运行程序和中断微机保护功能程序三部分。程序原理框图如图 4-43 所示。

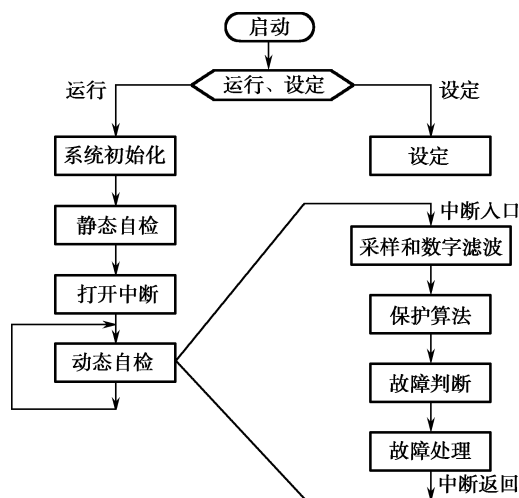


图 4-43 微机保护装置程序原理框图

设定程序主要用于功能选择和保护定值设定。运行程序对系统进行初始化，静态自检，打开中断子程序，不断重复动态自检，若自检出错，转向有关程序处理。自检包括存储器自检、数据采集系统自检、显示器自检等。中断打开后，每当采样周期到，就向微控制器提出中断请求，响应中断后，转入微机保护程序，微机保护程序主要由采样和数字滤波、保护算法、故障判断和故障处理等子程序组成。

保护算法是微机保护的核心，也是正在开发的领域，可以采用常规保护的动作原理，但更重要的是要充分发挥微机的优越性，寻求新的保护原理和算法，要求运算工作量小，计算精度高，以提高微机保护的灵敏性和可靠性。因此，不仅各种微机保护有不同的算法，而且同一种保护也可用不同的算法实现。供配电系统微机保护算法比较简单，主要是如何实现反时限过电流保护的算法，这里介绍三种反时限过电流保护的数学模型，它们由双曲线项、比例项和常数项三部分组成。

在保护装置投入运行前，通过键盘选择所采用的保护，并输入各保护的整定数据，过电流保护程序原理框图如图 4-44 所示。图中， $I_{\text{LOC.OP}}$ 、 $I_{\text{IOCT.OP}}$  和  $I_{\text{TOC.OP}}$  分别为瞬时速断、时限速断

和过电流保护动作的电流整定值； $I_{\text{IOCT.re}}$  和  $I_{\text{TOC.re}}$  分别为时限速断和过电流保护动作返回电流，它们由保护装置根据整定值自动产生；SIOCT 和 STOC 分别为时限速断和过电流保护动作启动标志字，动作启动置 1，未动作或返回置零；保护时限到标志字由定时中断程序产生。

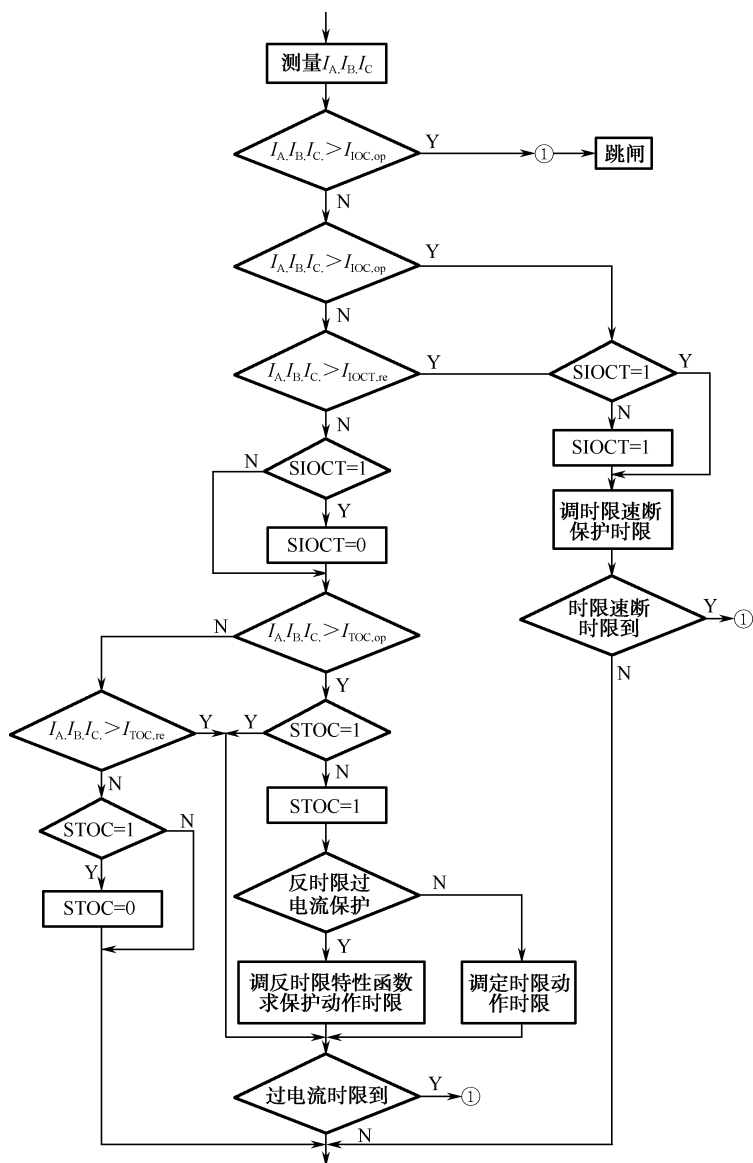


图 4-44 微机过电流保护的程序原理图

#### 4. HAS-531 微机线路保护测控装置的使用

##### 1) 装置面板

装置的面板由 LCD 显示器、LED 指示灯及简易键盘组成，如图 4-45 所示。

(1) LED 指示灯。本装置共有 7 个指示灯，从上至下依次是运行灯、电源灯、告警灯、事故灯、故障灯、合位灯、分位灯，除运行、电源和分位灯是绿灯，其余是红灯，通过信号灯，可以判别装置的工作状态及保护信号，具体意义如下：



图 4-45 HAS-531 微机装置面板

① 运行灯：表示装置的运行状态，装置正常运行情况下该灯应有规律闪烁，不闪烁可判断装置不工作。

② 电源灯：指示装置工作电源是否正常，正常运行时这个灯应常亮。

③ 告警灯：表示装置检测的设备有不正常的状态发生，正常运行时不显示，出现不正常状态时显示红色。过负荷、PT 断线、PT 失压、零序过流、小电流接地、轻瓦斯、温度升高等情况出现时指示灯显示红色。

④ 事故灯：表示装置检测的设备有事故状态发生，正常运行时不显示，出现事故状态时该灯亮，并且保护信号未复归该灯常亮。

⑤ 故障灯：表示装置通过自检发现装置本身的元件是否有故障，装置通过自检发现有故障时该灯亮。

⑥ 合位灯：表示装置所保护的设备开关是否在合闸位置。在合闸位置显示红色指示灯。

⑦ 分位灯：表示装置所保护的设备开关是否在分闸位置，在分闸位置显示绿色指示灯。

当保护动作或装置发生故障，面板上相应的“事故”、“预告”、“装置故障”信号指示灯会亮，并在 LCD 显示器的最后一行显示保护动作或装置故障的类型。请注意，此时显示的内容不表示事件发生的顺序。若要进一步了解详细情况，可在主菜单中选择“事件记录”来查看事件顺序记录（SOE）。

由于装置不可能检出所有的故障，故运行人员应注意 LED 指示灯在运行中是否正常，保护及测量 CT 采样值是否正常。例如，当装置的 5V 电源故障时，整个装置均不工作，也不会发出信号。这时应采取措施，保证设备正常工作。

装置的当地监控功能通过面板上的 LCD 显示及简易的键盘操作实现。

（2）键盘。本装置有 7 个按键，通过显示菜单进行按键操作，可查看装置的基本信息和状态、测量的测量值、保护值及其计算数据，以实现对系统参数的设置及定值修改等功能，按键的意义如下：

- ① ↑：方向键，上移一行（或一屏）；
- ② ↓：方向键，下移一行（或一屏）；
- ③ ←：方向键，左移一行（或一屏）；
- ④ →：方向键，右移一行（或一屏）；
- ⑤ 确定：是液晶屏上光标的确定键，保护功能“投”或“退”及保护定值修改后的确认按键。

⑥ 取消：使液晶屏上显示的内容返回到上一级菜单，如果返回到初始画面，则不再返回。

⑦ 复归：将液晶屏上显示的告警信息、故障信息及装置故障信息等从液晶屏上清除（但该类信息经过复归后仍然保存在“事件记录”菜单中），同时将“告警”、“事故”、“故障”信息点亮的红色指示灯熄灭；如果此时“告警”、“事故”、“故障”灯事件仍然没有得到处理，则新的信息重新出现。

（3）LCD 显示器。LCD 显示器为带背光的 8×4 汉字字符液晶显示模块。液晶显示方式默认为“自动关”模式。设置如果在一定时间内无键盘操作，将关闭装置的液晶显示。再次有键盘操作或装置上电重新启动时自动启动液晶显示。

正常运行时液晶显示器自动循环显示电气测量值及一些保护模拟量的一次值。若需查看未显示的项目，可按“↑”、“↓”键选择。需要显示的项目可在“出厂设置”菜单下设定。若需要复归保护动作或装置故障信号，可按下“复归”键，选择“是”后再按“确认”即可。通过“↑”、“↓”键可选择任一种功能，按“确认”键后进入该菜单的功能，按“取消”键或选择“退出”并按“确认”键后回到自动循环显示界面。

## 2) 操作说明

### （1）保护投退。

将光标移至“保护投退”并按“确认”键后，进入保护投退设置功能。

此时光标位于第一个投退项目即“速断”的投退设置。通过按“↑”、“↓”键可选择其他投退项目。当光标位于某一项目时，可通过“→”“←”键来改变设置。当全部投退项目设置完成后，可按“确认”键来保存这些设置。

当输入正确的 PASSWORD 后，就将所修改的保护投退设置保存好了。保护投退清单见表 4-12。

表 4-12 保护配置表

保 护 序 号	代 号	保 护 名 称	整 定 方 式
01	RLP1	速断	投入/退出
02	RLP2	速断方向	投入/退出
03	RLP3	限时速断	投入/退出
04	RLP4	限时速断后加速	投入/退出
05	RLP5	限时速断方向	投入/退出
06	RLP6	过电流	投入/退出
07	RLP7	过电流后加速	投入/退出
08	RLP8	过电流方向	投入/退出
09	RLP9	过负荷	投入/退出

续表

保护序号	代 号	保护名称	整定方式
10	RLP10	重合闸	投入/退出
11	RLP11	重合闸检无压	投入/退出
12	RLP12	重合闸检同期	投入/退出
13	RLP13	低频减载 I	投入/退出
14	RLP14	过流反时限	投入/退出
15	RLP15	低压闭锁低频减载	投入/退出
16	RLP16	过电流前加速	投入/退出
17	RLP17	母线接地报警	投入/退出
18	RLP18	PT 断线报警	投入/退出
19	RLP19	合闸不检条件	投入/退出
20	RLP20	手合/遥合检无压	投入/退出
21	RLP21	手合/遥合检同期	投入/退出
22	RLP22	同期电压线电压	投入：同期电压为线电压 退出：同期电压为相电压
23	RLP23	零序过流	投入/退出
24	RLP24	零序电压闭锁	投入/退出
25	RLP25	零序方向	投入/退出
26	RLP26	过流低压闭锁	投入/退出
27	RLP27	零序过流跳闸	投入：同期电压为线电压 退出：同期电压为相电压
28	RLP28	低电压	投入/退出
32	RLP32	录波	投入/退出

## (2) 保护定值。

进入保护定值功能后，即可对装置整定值进行当地修改。本装置可存储三套定值。0 号定值为当前使用的定值套号（1、2 或 3），其余号定值为装置对应于 0 号定值的本套定值。通过“↑”、“↓”键可选择显示或要修改的定值，按下“→”键进入光标所在定值的编辑状态。在编辑状态下，通过“↑”、“↓”“→”“←”键可对定值进行编辑。编辑完成后按“确认”键，在核实输入正确的口令后，再按“确认”键后本号定值修改有效，按“取消”键则修改无效。

整定值定义及说明详见表 4-13。

表 4-13 整定值定义及说明

定值序号	代 号	定值名称	整定范围
01	$K_{V1}$	一次电压比例系数	1（程序内设定为 1）
02	$K_{I2}$	一次电流比例系数	1（程序内设定为 1）
03	$I_{dz0}$	电流速断定值	0~100A
04	$I_{dz1}$	限时速断定值	0.1~100A

续表

定 值 序 号	代 号	定 值 名 称	整 定 范 围
05	$I_{dz1}$	限时速断延时	0~10s
06	$I_{dz2}$	过电流定值	0.1~100A
07		过电流延时	0~10s
08	备用		
09	$I_{dz3}$	重合闸检无流定值	0~20A
10	$t_{chzd1}$	重合闸延时	0~10s
11	$I_{dz4}$	过流前加速定值	0.1~100A
12	$t_{dz4}$	过流前加速延时	0~10s
13	$t_{chjszd}$	重合闸检加速延时	0~2s
14	Ch-a	检同期允许角度	0~30
15	$U_{dz1}$	低压闭锁低频定值	42~99V
16	$f_{dz1}$	低频减载 I 频率	45~49.5Hz
17	$t_{fzd1}$	低频减载 I 延时	0~99s
18	$U_{dz2}$	过流低压闭锁定值	0.1~100V
19	$I_{dz3}$	反时限过流定值	0.1~100A
20	$t_{dz3}$	反时限过流	0~10s
21	$I_{odz}$	零序过流定值	0.1~100A
22	$T_{ozd}$	零序过流延时	0~10s
23	$U_{odz}$	零序电压闭锁	5~180V
24	$I_{dz3}$	过负荷定值	0.1~100A
25	$T_{zd3}$	过负荷延时	0.1~10s
26	3U01	PT 断线定值	0~90V
27	$U_{iq}$	同期电压选择	RLP22 投入时: 1: $U_{ab}$ ; 2: $U_{bc}$ ; 3: $U_{ca}$ RLP22 退出时: 1: $U_a$ ; $U_b$ ; 3: $U_c$
28	3U02	母线接地定值	0~90V
29	$t_{zd3}$	母线接地延时	0~10s
30	$U_{dz1}$	低电压定值	0.1~100V
31	$t_{uzd1}$	低电压延时	0~10s

注：一次电压、电流系数×10 后为实际的一次 PT、CT 变比。

### (3) 事件记录。

本单元可存储 64 次事件记录，其中第 0 号为最新记录，第 1 号为上一次记录，依次类推。该记录存放在易失性存储器中，具有掉电长期保存功能，事件记录分为开关变位、保护动作和装置故障三种类型。

其中，N<sub>0</sub>后为记录号，07-07-15 为该事件发生的日期，即 2007 年 7 月 15 日。15:29:53.611 该事件发生的时间，即 15 时 29 分 53 秒 611 毫秒。

通过按“↑”、“↓”键可选择显示其余的 64 个事件。

当事件类型为保护动作时，可以按“确认”键去查看该保护的動作值，再按“确认”键返回。

#### (4) 输入/输出。

通过“↑”、“↓”键可选择查看开入还是进行开出操作。

其中“0”表示输入的开关未闭合，“1”表示输入的开关已闭合。

按“取消”键可以退出并返回上一级菜单。

01：分位；02：合位；03～14：对应装置背面开入量  $k_1 \sim k_{12}$ 。其余未定义。

当选择开出时，屏幕显示如下：

通过“↑”“↓”“→”“←”键可对开出量进行编辑。“1”对应输出继电器闭合或指示灯亮，“0”对应输出继电器断开或指示灯灭。编辑完成后按“确认”键，在核实输入正确的口令后，再按“确认”键后，相应的继电器就能输出动作。

从右到左：0：遥控分闸；1：遥控合闸；2：保护跳闸；3：重合闸；4：保护跳闸指示灯；5：备用；6：重合闸指示灯；7：备用；8：备用；9：事故信号；A：预告信号；其余未定义。

#### (5) 采样数值。

在主菜单中选择“采样数值”后屏幕显示以下内容：

0 通道：A 相测量电流；1 通道：B 相测量电流；2 通道：A 相测量电压；3 通道：B 相测量电压；4 通道：C 相测量电压；5 通道：A 相保护电流；6 通道：B 相保护电流；7 通道：C 相保护电流；8 通道：零序电流；9 通道：零序电压。

#### (6) 实时时钟。

本单元具有掉电运行的实时时钟功能，进入实时时钟模块后，LCD 显示器将显示装置的实时时钟。

通过简易键盘可对时钟进行修正。按“确认”键后进入时钟编辑状态。在编辑状态下，通过“↑”“↓”“→”“←”键可对时钟进行编辑。编辑完成后按“确认”键，在核实输入正确的口令后，再按“确认”键后，修改有效。若此时不想修改时钟，可按“退出”键退出时钟编辑状态。

该时钟也可由通信网统一校时（精确到 2ms），以使整个系统保持同一时基。实时时钟主要作为事件顺序记录的时间依据。

#### (7) 电能脉冲。

进入电能计量模块后，可对脉冲电度表脉冲计数进行初值设定。初值设定后，该值将随着电能脉冲的累积而变化，直到下一次重新设定初值。每个装置共安排了 2 路脉冲计数输入。

#### (8) 出厂设置。

出厂设置在装置出厂前已设置完成，用户不必更改。出厂设置表见表 4-14。

表 4-14 出厂设置表

序 号	代 号	名 称	整 定 范 围
0	$K_{v2}$	二次电压比例系数	11.80 (12)
1	$K_{ic}$	二次测量电流比例系数	235.50 (140)
2	$K_{ib}$	二次保护电流比例系数	14.20 (14.8)
3	$K_{i0}$	二次零序电流比例系数	235.20 (14.8)

续表

序 号	代 号	名 称	整 定 范 围
4	$K_{v0}$	二次零序电压比例系数	11.83
5	Imp/kW · h1	脉冲电能表常数 1	1000/kW · h
6	Imp/kW · h2	脉冲电能表常数 2	1000/kW · h
7	Imp/kW · h3	脉冲电能表常数 3	1000/kW · h
8	Imp/kW · h4	脉冲电能表常数 4	1000/kW · h
9	Inalarm	开关量报警设定	$(\sum 2^{n-1}) / 100$
10	PU0	PT 零序系数	
11	Disp	滚动显示项目选择	
12	Address	装置通信地址	0~244
13	Band Rate	装置通信波特率	
14	Realy Check	自检出口继电器设置	

其中,二次电压比例系数、二次测量电流比例系数、二次保护电流比例系数、二次零序电流比例系数、二次零序电压比例系数由二次互感器类型及满量程值确定。

开关量报警设定:当某些开关量发生变化时,若需要启动报警信号,可通过设置该项来实现。

滚动显示项目的选择:选择显示项目时,大部分可按表 4-15 的设置值确定,将所选的各项项目设置值相加。例如,要显示  $U_{ab}$ 、 $I_a$ 、 $P$  和  $f$ ,设置值为  $0.01+0.64+2.56+20.48=23.69$ 。

装置通信地址:装置通信地址的设置范围为 0~244。

装置通信波特率:装置通信波特率的单位为 kbps。例如,要设置通信波特率为 9600bps,其设定值为 9.60。

自检出口继电器设置:设定值为  $\sum 2^{n-1}$ ,式中, $n$  为第  $n$  路开出。例如,某装置有 J1、J2、J3、J4 共 4 个开出继电器,自检设定值应为  $2^0+2^1+2^2+2^3=15$ 。

表 4-15 显示项目

显 示 项 目	设 置 值	显 示 项 目	设 置 值
$U_{ab}$	0.01	$I_c$	1.28
$U_{bc}$	0.02	$P$	2.56
$U_{ca}$	0.04	$Q$	5.12
$U_a$	0.08	$\cos\phi$	10.24
$U_b$	0.16	$F$	20.48
$U_c$	0.32	$U_x$	40.96
$I_a$	0.64		

(9) 设备信息。

设备信息将显示装置的一些基本信息,如版本、装置类型及型号,程序存储器校验码等。

(10) 采样实时显示。

采用实时显示见表 4-16。



表 4-16 采样实时显示

通道 00	测量电流 $I_a$ (A19, A20)	通道 06	保护电流 $I_b$ (A13, A14)
通道 01	测量电流 $I_c$ (A21, A22)	通道 07	保护电流 $I_c$ (A15, A16)
通道 02	母线电压 $U_a$ (A1)	通道 08	零序电流 $I_0$ (A17, A18)
通道 03	母线电压 $U_b$ (A2)	通道 09	零序电压 $U_0$ (A5, A6)
通道 04	母线电压 $U_c$ (A3)	通道 10	
通道 05	保护电流 $I_a$ (A11, A12)	通道 11	

### 3) 使用说明

在开始使用装置前,除详细阅读装置操作说明外,还必须进行如下检查。

#### (1) 通电前检查。

检查装置型号与各种参数是否与安装一致。

检查后排端子的接线是否正确、可靠。

#### (2) 通电后检查。

运行指示灯是否正常闪烁。

键盘能否正常操作。

保护及测量 CT 采样值是否正常。

## 实操训练 9 微机线路保护装置基本功能认知

### 1. THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置简介

THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置如图 4-46 所示。

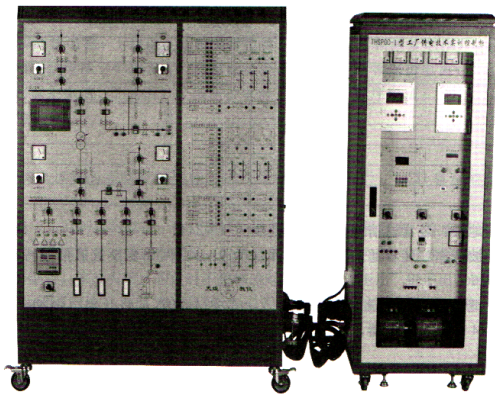


图 4-46 THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置

THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置(简称实训装置)是由操作屏和控制柜两部分组成,它们之间通过三根航空导线连接。三根连接导线分别是控制信号线、采集信号线、主回路连接线。整个实训装置由工厂供配电网络操作实训面板、微机装置控制及二次回路控制实训操作面板、微机线路保护及其设置单元、电秒表计时单元、微机电机保护及其设置单元、电动机组启动及负荷控制单元、触摸屏控制单元、PLC 控制单元、仪表测量单元、有载调压分接头控制单元、无功自动补偿控制单元、设备自投控制单元、接口备用扩展单元及电源等单元构成。整个工厂的供配电电力一次主接线线路结构如图 4-47 所示。

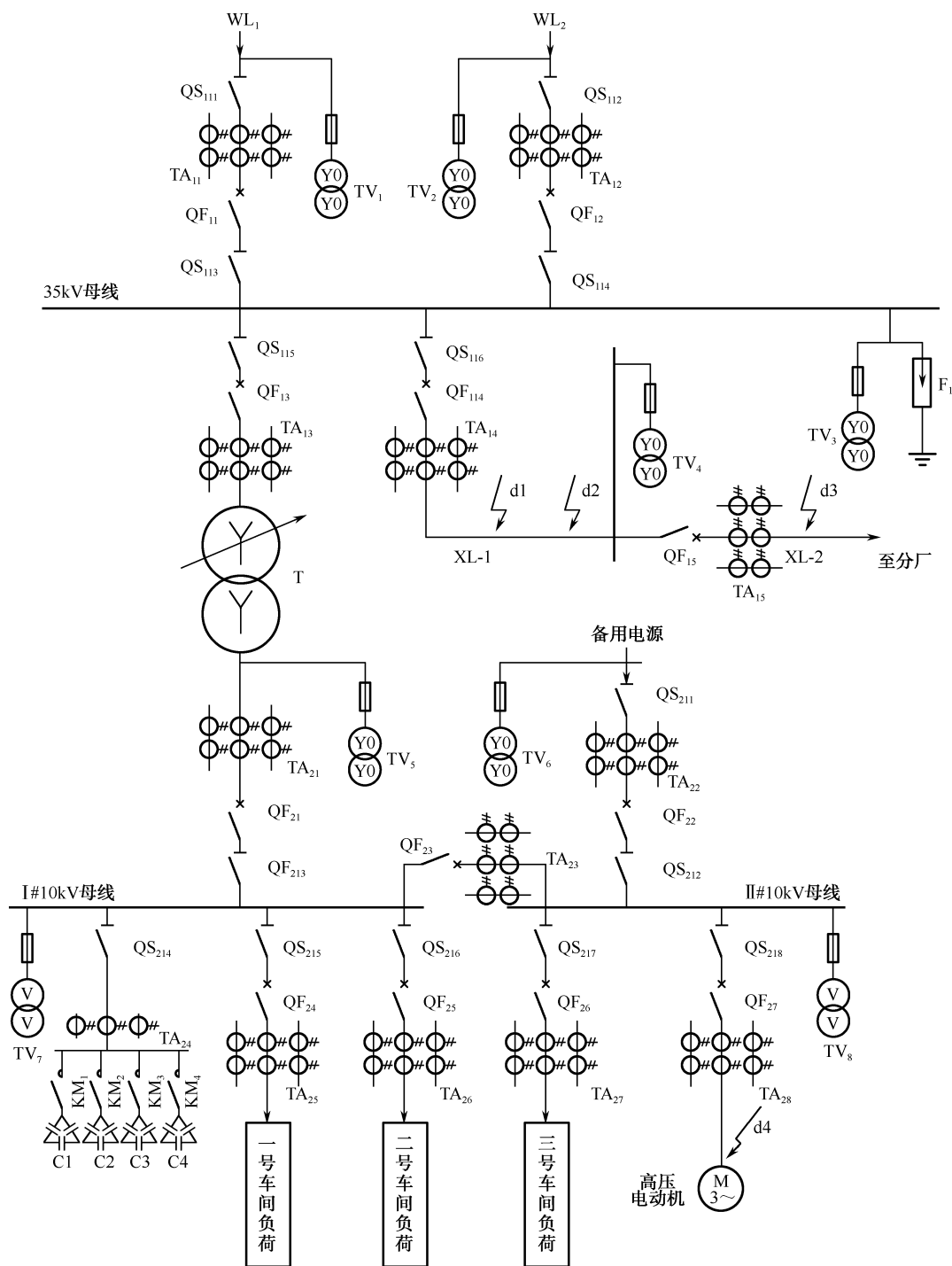


图 4-47 工厂供电网络一次主接线结构图

## 2. 实训内容与步骤

(1) 模拟系统的正常、最大、最小运行方式。电力系统在运行过程中，由于不同时刻投入系统的发电机和变压器台数可能发生改变、高压线路进行检修等，使得固定网络结构和参数方

式变化,从而使得出现了最大、正常和最小三种不同的运行方式。其中将通过保护安装处短路电流最小的运行方式称为系统最小运行方式,此时系统阻抗最大。而正常运行方式是指系统界于最大运行方式和最小运行方式之间的一种运行方式,此时想处于最优运行状态下。由此可见,如果将电力系统等效成一个电压源,那么最大、最小运行方式是它在两个极端阻抗参数下的工况,本实训就是在微机保护装置上模拟系统的三种不同的运行方式。

① 按照正确顺序启动实训装置。依次合上实训控制柜上的“总电源”、“控制电源Ⅰ”和实训控制屏上的“控制电源Ⅱ”、“进线电源”开关,依次合上 QS<sub>111</sub>、QS<sub>113</sub>、QF<sub>11</sub>、QS<sub>116</sub>、QF<sub>14</sub>、QF<sub>15</sub> 给输电线路供电。

② 设置微机线路保护装置:在“HAS-531 微机线路保护测控装置”主菜单栏中选择“保护定值”菜单,设定“一次电压比例系数”为 35,“一次电流比例系数”为 1,把装置中的所有保护退出,按“取消”键或选择“退出”键后回到自动循环显示界面。

③ 短路故障模拟:在控制柜上把系统运行方式拨到最大,按下 d1 按钮来模拟三相短路故障,记录微机装置上的电流电压值于表 4-17 中。

表 4-17 录数据

项 目	最大方式	正常方式	最小方式
电压 $U_a/\text{kV}$			
电流 $I_a/\text{A}$			

(2) 模拟系统短路。输电线路的短路故障可分为两大类:接地故障和相间故障。而相间故障中的三相短路故障又比较典型在此以三相短路来完成实训项目。实训步骤如下:

① 按照正确顺序启动实训装置:依次合上实训控制柜上的“总电源”、“控制电源Ⅰ”和实训控制屏上的“控制电源Ⅱ”、“进线电源”开关,依次合上 QS<sub>111</sub>、QS<sub>113</sub>、QF<sub>11</sub>、QS<sub>116</sub>、QF<sub>14</sub>、QF<sub>15</sub> 给输电线路供电(注:在做下面操作前一定要保证微机线路保证装置中的所有保护都处于提出状态)。

② 把系统运行方式设置为最小,分别在 XL-1 段的 d1、d2 处和 XL2 段的 d3 处发生三相短路故障,记录保护装置中的测量值于表 4-18。

表 4-18 记录数据

项 目	d1 处短路	d2 处短路	d3 处短路
电压 $U_a/\text{kV}$			
电流 $I_a/\text{A}$			

(3) HAS-531 微机线路保护测控装置基本功能测试。

① 按照正确顺序启动实训装置:依次合上实训控制柜上的“总电源”、“控制电源Ⅰ”和实训控制屏上的“控制电源Ⅱ”、“进线电源”开关,依次合上 QS<sub>111</sub>、QS<sub>113</sub>、QF<sub>11</sub>、QS<sub>116</sub>、QF<sub>14</sub>、QF<sub>15</sub> 给输电线路供电

② 设置“HAS-531 微机线路保护测控装置”:在主菜单栏中选择“保护定值”菜单,设定“一次电压比例系数”为 35,“一次电流比例系数”为 1,“电流速断定值”为 2A,“限时速断定值”为 1.1A,“限时速断延时”为 0.5s,“过电流定值”为 0.5A,“过电流延时”为 1s,保存设置。按微机保护装置面板上的“取消”键返回主菜单栏,选择“保护投退”,

按“确定”键进入后选择“速断”投入并保存，按“取消”键返回滚动显示画面。

③ 在控制柜把系统运行方式选择凸轮开关拨到最大位置处，按下 XL-1 段的短路按钮 d1，记录断路器的状态及动作值于表 4-19 中。

表 4-19 断路器的状态及动作值

保 护 类 型	断路器 (QF <sub>14</sub> ) 的状态	动作值/A
速断		
限时速断		
过电流		

④ 断路器电阻后，待短路持续时间到，d1 处短路故障退出，合上断路器 QF<sub>14</sub>。按下控制柜上微机线路保护装置上的“复归”键，消除事故信号显示界面和事故灯，按“取消”键返回主菜单栏，选择“保护投退”，按“确定”键进入后选择“速断”退出并保存，再选择“限时速断”投入并保存，按取“消键”返回滚动显示画面。

⑤ 在 XL-2 段的 d3 处发生短路事故，方法为手动按下 d3 短路事故模拟按钮。记录断路器的状态及动作值于表 4-20 中。

⑥ 断路器动作后，待短路持续时间到，d3 处短路故障退出后，合上断路器 QF<sub>14</sub>。按下控制柜上微机线路保护装置上的“复归”键，消除事故信号显示界面和事故灯，按“取消”键返回主菜单栏，选择“保护投退”，按“确定”键进入后选择“限时速断”退出并保存，再选择“过电流”投入并保存，按“取消”键返回滚动显示画面。

## 实操训练 10 微机定时限过电流保护

① 按照正确顺序启动实训装置：依次合上实训控制柜上的“总电源”、“控制电源 I”和实训控制屏上的“控制电源 II”、“进线电源”开关。依次合上控制屏上的 QS<sub>111</sub>、QS<sub>113</sub>、QF<sub>11</sub>、QS<sub>116</sub>、QF<sub>14</sub>、QF<sub>15</sub> 给输电线路供电。

② 对微机保护装置过电流保护的動作值和时间进行整定，把“过电流定值”设为 0.5A，“过电流延时时间”设为 1s。投入“过电流”保护功能，其余功能都退出，保存设置。

③ 把系统运行方式设置为最小，打开控制柜上的电秒表电源开关，把“时间测量选择”拨至线路保护侧，工作方式采用“连续”方式，在 XL-1 段 d2 处进行三相电路，记录电流动作值及电秒表上数值于表 4-20 中。

④ 待短路故障按钮经延时跳起后，按下电秒表面板上的“复位”按钮，清除电秒表数值，合上断路器 QF<sub>14</sub>，在 XL-2 段 d3 处进行三相短路，记录电流动作值及电秒表上数值于表 4-20 中。

表 4-20 记录数据

故 障 位 置	XL-1 线路 d2 处	XL-2 线路 d3 处
电流整定值/A		
时间整定值/s		
断路器能否动作		
电秒表数值/s		
电流动作值/A		

## 任务4 自动装置的检验与调试

### 【任务描述】

本任务主要介绍自动装置的结构和工作原理,让学生掌握自动重合闸装置、备用电源自动投入装置的工作过程,并能够实地进行正确的自动装置安装调试和运行维护,对一些简单的故障进行分析和维护。

### 【知识链接】

#### 4.4.1 电力线路的自动重合闸装置

##### 1. 概念

电力系统运行过程中时常出现瞬时性故障,这些故障虽然会引起断路器跳闸,但短路故障后,故障点的绝缘都能自动恢复。此时断路器再一次合闸,便可恢复供电,从而通过了供电可靠性。自动重合闸装置是当断路器跳闸后,能够自动地将断路器重合闸的一种装置。自动重合闸装置简称 ARD。

##### 2. 对自动重合闸装置的基本要求

(1) 自动重合闸装置可按控制开关位置与断路器位置不对应的原理启动。

(2) 用控制开关或通过遥控装置将断路器断开,自动重合闸装置均不应动作。

(3) 在任何情况下(包括装置本身的元件损坏,以及继电器触点粘住或拒动),自动重合闸装置的动作次数应符合预先的规定(如一次重合闸只应动作一次)。

(4) 自动重合闸装置动作后,应能自动复归。

(5) 自动重合闸装置应能在重合闸后加速继电保护的動作;必要时可在重合闸前加速其动作。

(6) 自动重合闸装置应具有接收外来闭锁信号的功能。

##### 3. 电气一次自动重合闸装置

DH-3 型三相一次重合闸装置用于输电线路实现三相一次自动重合闸,它是重要的保护设备。重合闸装置的内部接线如图 4-48 所示。装置由一只 DS-22 时间继电器(作为时间元件)、一只电码继电器(作为中间元件)及一些电阻、电容元件组成。装置内部的元件及其主要功能如下。

(1) 时间元件 SJ。该元件由 DS-22 时间继电器构成,其延时调整范围为 1.2~5s,用于调整重合闸启动到接通断路器合闸线圈实现断路器重合的延时,时间元件有一对延时常开触点和一对延时滑动触点及两对瞬时切换触点。

(2) 中间元件 ZJ。该元件由电码继电器构成,是装

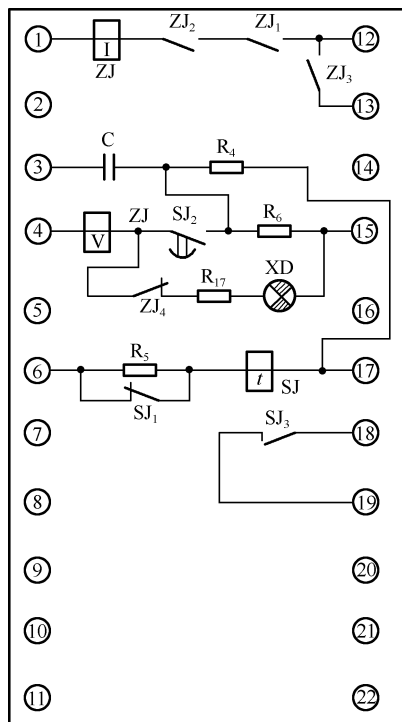


图 4-48 自动重合闸装置内部接线图

置的出口元件，用于接通断路器的合闸线圈。继电器线圈由两个绕组组成：电压绕组  $ZJ(V)$ ，用于中间元件的启动；电流绕组  $ZJ(I)$ ，用于在中间元件启动后使衔铁继续保持在合闸位置。

(3) 电容器  $C$ 。用于保证装置只动作一次。

(4) 充电电阻  $R_4$ 。用于限制电容器的充电速度。

(5) 附加电阻  $R_5$ 。用于保证时间元件  $SJ$  的线圈热稳定性。

(6) 放电电阻  $R_6$ 。在需要实现分闸，但不允许重合闸动作（禁止重合闸）时，电容器上存储的电能不能经过它放电。

(7) 信号灯  $XD$ 。在装置的接线中，监视中间元件的触点  $ZJ_1$ 、 $ZJ_2$  和控制按钮的辅助触点是否正常。发生故障时信号灯熄灭，当直流电源发生中断时，信号灯也熄灭。

(8) 附加电阻  $R_{17}$ 。用于降低信号灯  $XD$  上的电压。

在输电线路正常工作的情况下，重合闸装置中的电容器  $C$  经电阻  $R_4$  已经充足电，整个装置处于准备电阻状态。当断路器由于保护动作或其他原因而跳闸时，断路器的辅助触点启动重合闸装置的时间  $SJ$ ，经过延时后触点  $SJ_2$  闭合，电容器  $C$  通过  $SJ_2$  对  $ZJ(V)$  放电， $ZJ(V)$  启动后接通了  $ZJ(I)$  回路并自保持到断路器完成合闸。如果线路上发生的是暂时性故障，则合闸成功后，电容器自行充电，装置重新处于准备动作的状态。如线路上存在永久性故障，此时重合闸不成功，断路器第二次跳闸，但这一段时间远远小于电容器充电到使  $ZJ(V)$  启动所必需的时间（15~25s），因而保证只动作一次。

DH-3 重合闸装置试验接线图如图 4-49 所示。

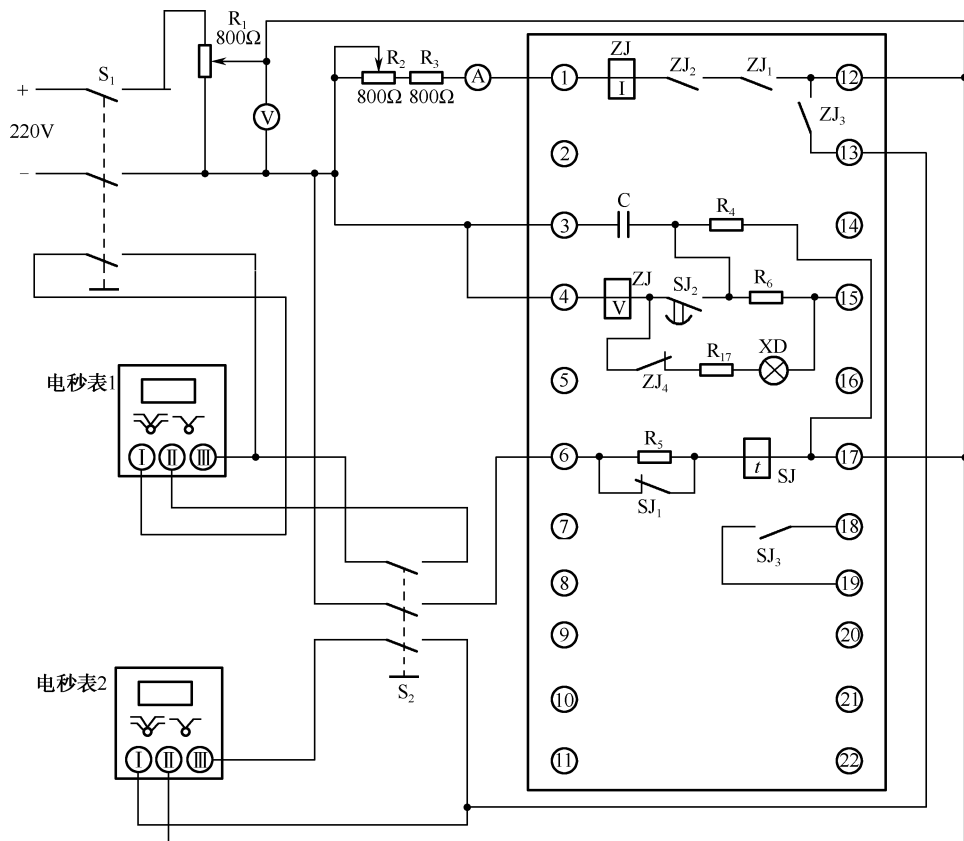


图 4-49 DH-3 型重合闸装置试验接线图

## 4.4.2 备用电源自动投入装置

### 1. 概念

备用电源自动投入装置（备自投，APD）是当主电源线路发生故障而断电时能自动并且迅速将备用电源投入运行，以确保供电可靠性的装置。

### 2. 对备用电源自动投入装置的要求

- (1) 当工作电源不论何种原因消失时，APD 均应动作。
- (2) 应保证在工作电源断开后备用电源电压正常，才投入备用电源。
- (3) 备用电源自动投入装置只允许动作一次。
- (4) 电压互感器二次回路断线时，APD 不应误动作。
- (5) 在采用 APD 的情况下，应检验备用电源的过负荷情况和电动机的自启动情况。如过负荷严重或不能保证电动机自启动，则应在 APD 动作前自动减负荷。

### 3. 备用电源自动投入装置的接线

(1) 明确备用方式下的备用电源自动投入装置 APD 接线。分析备用电源自动投入装置接线原理图，掌握其工作过程。

(2) 互为备用电源的 APD 接线。分析互为备用电源的 APD 接线原理图，掌握其工作过程。

## 实操训练 11 自动装置的检验与调试实训

在实训控制屏右侧的备自投装置部分线路还没有连接好，开始本项目实训前，请对照图 4-48、图 4-49、图 4-50 及表 4-15 完成备自投装置的接线。保证接线完成且无误后再开始实训操作。

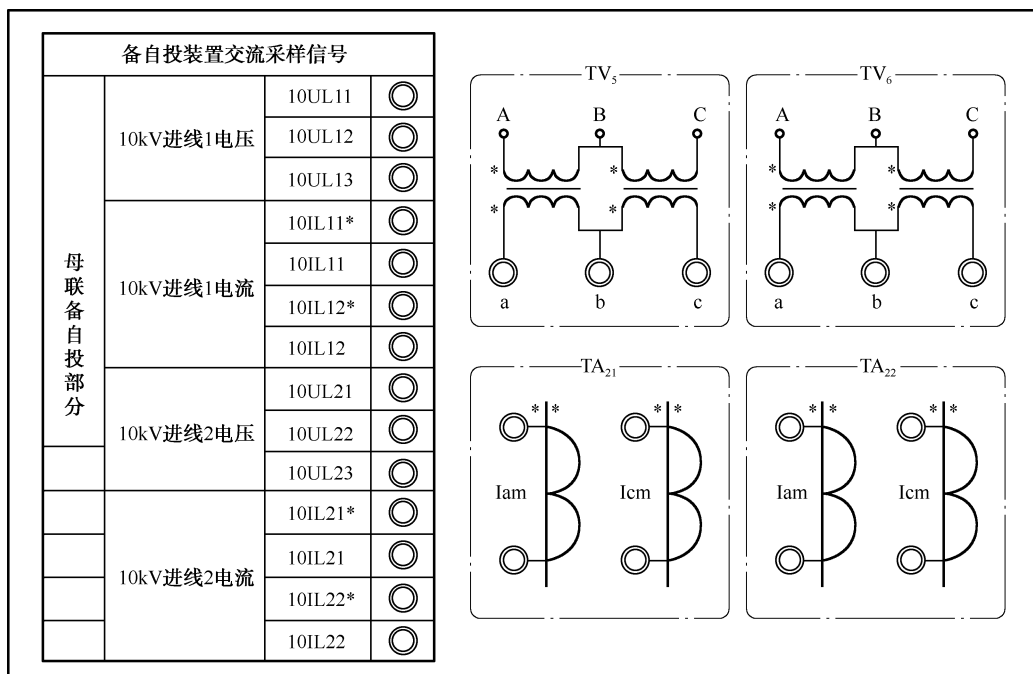


图 4-50 微机备自投装置接线图

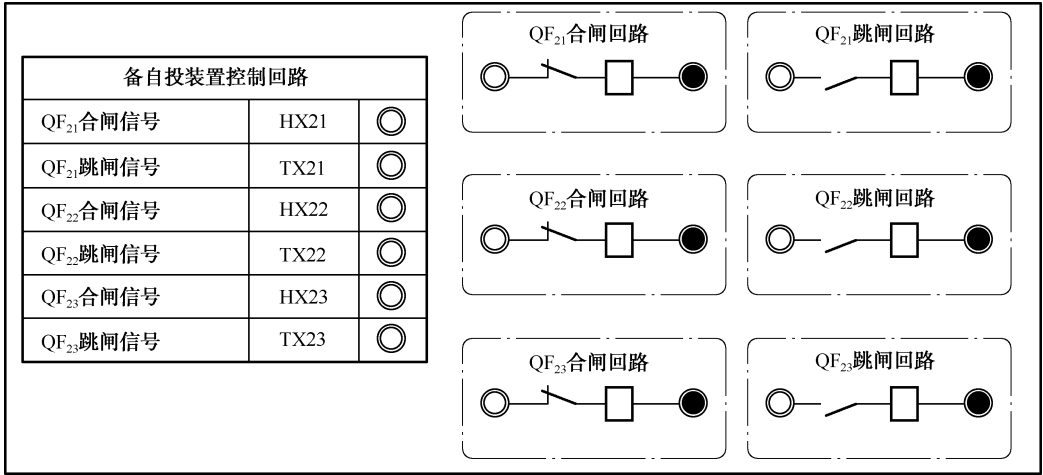


图 4-50 微机备自投装置接线图（续）

表 4-21 备自投装置交流采样信号接线对照表

互感器接线端子		备投装置采样信号	互感器接线端子		备投装置采样信号
TV <sub>5</sub>	a	10UL11	TV <sub>6</sub>	a	10UL21
	b	10UL12		b	10UL22
	c	10UL13		c	10UL23
TA <sub>21</sub>	Iam*	10IL11*	TA <sub>22</sub> TV <sub>6</sub>	Iam*	10IL21*
	Iam	10IL11		Iam	10IL21
	Icm*	10IL12*		Icm*	10IL22*
	Icm	10IL12		Icm	10IL22

备自投装置控制回路部分：只需将相应的信号引入到控制回路中即可（黑色接线柱如图 4-50 所示上不用引线）。

1. 运行情况：运行线路失电，备用电源有电

(1) 依次合上实训控制柜上的“总电源”“控制电源Ⅰ”和实训控制屏上的“控制电源Ⅱ”、“进线电源”开关。

(2) 检查实训控制屏面板上隔离开关 QS<sub>111</sub>、QS<sub>112</sub>、QS<sub>113</sub>、QS<sub>114</sub>、QS<sub>115</sub>、QS<sub>213</sub>、QS<sub>215</sub>、QS<sub>217</sub> 是否处于合闸状态，未处于合闸状态的，手动使其处于合闸状态；手动使实训台上的断路器 QF<sub>11</sub>、QF<sub>13</sub>、QF<sub>21</sub>、QF<sub>23</sub> 处于“合闸”状态，使其他断路器均处于“分闸”状态；手动投入负荷“1#车间”和“3#车间”，方法为手动合上断路器 QF<sub>24</sub> 和 QF<sub>26</sub>。

(3) 对实训控制柜上的 THLBT-1 微机备自投装置做如下设置：

- ① “备自投方式”设置为“进线”；
- ② “无压整定”设置为“20V”；
- ③ “有压整定”设置为“70V”；
- ④ “投入延时”设置为“1s”；
- ⑤ “自适应方式”设置为“退出”。

(4) 模拟运行线路失电，方法为手动按下控制屏上方的“WL1 模拟失电”按钮。



(5) 1s 后, 观察控制屏上断路器  $QF_{11}$  和  $QF_{12}$  的状态, 将结果记录入表 4-22。

表 4-22 控制屏上断路器  $QF_{11}$  和  $QF_{12}$  的状态结果

序 号	运 行 条 件	断 路 器 ( $QF_{11}$ , $QF_{12}$ ) 状 态	备 自 投 是 否 投 入
1	运行线路失电, 备用电源有电		
2	运行线路失电, 备用电源无电		

注: 装置本身固有采集延时  $t$  在 2.5~3s, 所以实际投入延时  $T = \text{“投入延时”} + t$ 。

## 2. 运行情况: 运行线路失电, 备用电源无电

重复步骤 1 中的 (1) ~ (3)。

(4) 模拟备用电源无电, 方法为按下控制屏上方的“ $WL_2$  模拟失电”按钮; 模拟运行线路失电, 方法为手动按下控制屏上方的“ $WL_1$  模拟失电”按钮。

(5) 1s 后, 观察控制屏上断路器  $QF_{11}$  和  $QF_{12}$  的状态, 将结果记录入表 4-22 中。

## 3. 实训内容与步骤

参照技能训练一完成备自投装置的接线, 在保证接线完成且无误的情况下再开始实训内容。

### ♥ 明备用方式一实训

重复步骤 1 中的 (1) ~ (3)。

(4) 步骤 1 中 (3) 中的④的“投入延时”设置为“3s”。

(5) 按下控制屏面板上的“ $WL_1$  模拟失电”按钮。

(6) 当 THLBT-1 微机备自投装置显示“进线备自投成功”后, 按下 THLBT-1 微机备自投装置面板上的“退出”键, 再按“确认”键进入主菜单, 选择“历史记录”, 查看“事件记录”, 记录事件及时间于表 4-23 中。

(7) 恢复进线 1 供电。方法为按下“ $WL_1$  模拟失电”按键, 手动使断路器  $QF_{12}$  处于“分闸”状态, 使断路器  $QF_{11}$  处于“合闸”状态。为后一步操作做准备。

(8) 调整控制柜上的 THLBT-1 微机备自投装置, 将“备自投延时”分别设置为“2s”, “1s”, “0s”, 重复步骤 (4) ~ (6)。

(9) 将实训结果填入表 4-23 中。

表 4-23 明备用方式一实训结果

序 号	备自投延时时间/s	动作过程 (投入前和投入后断路器状态)		事件及事件
		投 入 前	投 入 后	
1	3			
2	2			
3	1			
4	0			

### ♥ 明备用方式二实训

## 1. 运行情况: 运行线路失电, 备用电源有电

重复步骤 1 中的 (1) ~ (3)。

- (4) 步骤1中的(3)中的④的“投入延时”设置为“3s”。
- (5) 按下控制面板上的“WL<sub>2</sub>模拟失电”按钮。
- (6) 当 THLBT-1 微机备自投装置显示“进线备自投成功”后,按下 THLBT-1 微机备自投装置面板上的“退出”键,再按“确认”键进入主菜单,选择“历史记录”,查看“事件记录”,记录事件及时间于表 4-24 中。
- (7) 恢复进线 2 供电。方法为按下“WL<sub>2</sub>模拟失电”按键,手动使断路器 QF<sub>11</sub>处于“分闸”状态,使断路器 QF<sub>12</sub>处于“合闸”状态。为后一步操作做准备。
- (8) 调整控制柜上的 THLBT-1 微机备自投装置,将“备自投延时”分别设置为“2s”,“1s”,“0s”,重复步骤(4)~(6)。
- (9) 将实训结果填入表 4-24 中。

表 4-24 明备用方式二实训结果

序 号	备自投延时时间/s	动作过程(投入前和投入后断路器状态)		事件及时间
		投 入 前	投 入 后	
1	3			
2	2			
3	1			
4	0			

#### ♥ 明备用自适应方式三实训

重复步骤1中的(1)~(2)。

(3) 对实训控制柜上的 THLBT-1 微机备自投装置做如下设置:

- ① “备自投方式”设置为“进线”;
- ② “无压整定”设置为“20V”;
- ③ “有压整定”设置为“70V”;
- ④ “投入延时”设置为“3s”;
- ⑤ “自适应方式”设置为“投入”;
- ⑥ “自适应延时”设置为“3s”。

(4) 按下“WL<sub>1</sub>模拟失电”按键。

(5) 当 THLBT-1 微机备自投装置显示“进线备自投成功”后,等装置自动回到初始界面,按“确认”键进入主菜单,选择“历史记录”,查看“事件记录”,记录事件及时间于表 4-25。

(6) 再次按下“WL<sub>1</sub>模拟失电”按键,恢复进线 1 供电,当 THLBT-1 微机备自投装置显示“进线备自投适应成功”后,按下 THLBT-1 微机备自投装置的“退出”键,再按“确认”键进入主菜单,选择“历史记录”,查看“事件记录”,记录事件及时间于表 4-25。

(7) 调整 THLBT-1 微机备自投装置,将“备自投延时”分别设置为“2s”,“1s”,“0s”,重复步骤(4)~(6)。

(8) 进入 THLBT-1 微机备自投装置菜单中的“事件记录”填写在表 4-25 中。

表 4-25 明备用自适应方式三实训结果

序 号	备自投延时时间/s	动作过程（投入前和投入后断路器状态）		事件及时间
		投 入 前	投 入 后	
1	3			
2	2			
3	1			
4	0			

任务 5 变电站综合自动化系统的运行管理

【任务描述】

变电站综合自动化就是利用微机技术将变电站的二次设备（包括控制、信号、测量保护、自动装置、远控装置）进行功能的重新组合和结构的优化设计，对变电站进行自动监视、测量、控制和协调的一种综合性的自动化系统。

本任务是在了解变配电站综合自动化系统的基本概念、组成结构、工作原理和通信方式的基础上，熟悉无人值班变电所的运行特征和管理模式。

【知识链接】

4.5.1 变电站综合自动化系统的运行与管理

1. 变电站综合自动化系统的概述

变配电所综合自动化系统是利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术等实现对变配电站二次设备（包括继电保护、控制、测量、信号、故障录波、自动装置及远动装置等）的功能进行重新组合、优化设计、对变配电站全部设备的运行情况执行监视、测量、控制和协调的一种综合性的自动化系统。通过变配电站综合自动化系统内各设备间的信息交换、数据共享，完成变配电站运行监视和控制任务。变配电站综合自动化系统替代了常规的二次设备，它将传统的变电站内各种分立的自动装置集成在一个综合系统内，并具有运行管理上的功能，包括制表、分析统计、防误操作、生成实时和历史数据流、安全运行监视、事故顺序记录、事故追忆、实现就地及远方监控，简化了变配电站二次接线。变配电站综合自动化是提高变配电站安全稳定运行水平、降低运行维护成本、提高经济效益、向用户提供高质量电能的一项重要技术措施。

变配电站综合自动化的优点如下：

- ① 控制和调节由计算机完成，减小了劳动强度，避免了误操作。
- ② 简化了二次接线，使整体布局紧凑，减小了占地面积，降低了变配电站建设投资。
- ③ 通过设备监视和自诊断，延长了设备检修周期，提高了运行可靠性。
- ④ 变电站综合自动化以计算机技术为核心，具有发展、扩充的余地。
- ⑤ 减少了人的干预，使人为事故大大减少。

⑥ 提高了经济效益。降低了二次建设的投资和变电站运行成本；设备可靠性增加，维护方便；减轻和替代了值班人员的大量劳动；延长了供电时间，减少了供电故障。

## 2. 变电站综合自动化系统的功能

变配电站综合自动化系统可以完成多种功能，它们的实现主要依靠以下三个子系统。

### 1) 监控子系统

监控子系统是完成模拟量输入、数字量输入、控制输出等功能的系统，一般应用测量和控制器件对站内线路和变压器的运行参数进行测量、监视，以及对断路器、隔离开关、变压器分接头等设备进行投切和调整。监控子系统可以实现的主要功能如下：

(1) 数据采集。定时采集全站模拟量、开关量和脉冲量等信号，经滤波，检出事故、故障、状态变位信号和模拟量参数变化，实时更新数据库，为监控系统提供运行状态的数据。

(2) 控制操作。操作人员可通过 CRT 屏幕执行对断路器、隔离开关、电容器组投切、变压器分接头进行远方操作。

(3) 人机联系。远程终端 CRT 能为运行人员提供人机交互界面，调用各种数据报表及运行状态图、参数图等。

(4) 事件报警。在系统发生事故或运行设备各种异常时，进行音响、语音报警，推出事件画面，画面上相应的画块闪光报警，并给出事件的性质，异常参数，也可推出相应的事件处理指导。

(5) 故障录波、测距。能把故障线路的电流、电压的参数和波形进行记录，也可以计算出测量点与故障点的阻抗、电阻、距离和故障性质。

(6) 系统自诊断。系统具有在线自诊断功能，可以诊断出通信通道，计算机外围设备、I/O 模块、工作电源等故障，故障时立即报警、显示，以便及时处理，从而保证了系统运行的较高可靠性。

(7) 数据处理和参数修改。对收集到的各种数据实时进行动态计算和处理，分析运行设备是否处于正常状态，并能根据需要通过 CRT 修改系统所设置的上、下限参数值。

(8) 报表与打印。根据运行要求进行运行参数打印、运行日志打印、操作记录打印、事件顺序记录打印等。

### 2) 保护子系统

在综合自动化系统中，继电器保护由微机保护所替代，保护系统是变电站综合自动化系统最基本，最重要的系统。微机保护包括变电所的主要设备和输电线路的全套保护，具有高压线路、主变压器、无功综合补偿装置、母线和配电线路的成套微机保护及故障录波装置等。微机保护在被保护线路和设备故障时，动作于断路器跳闸；线路故障消除后，则执行自动重合闸。微机保护与故障测距录波装置都挂在综合系统网络总线上，通过串口与监控主机通信，召唤传送线路和设备经处理运算后的输入模拟量，故障跳闸后传送故障参数与重合闸信息，保护动作信息等。

### 3) 电压和无功综合控制子系统

在电力系统中为维持供电电压在规定的范围内，保持电力系统稳定和无功功率的平衡，需要对电压进行调节，对无功功率进行补偿，以保证在电压合格的前提下电能损耗最小。在变电所中，对电压和无功的控制一般采用调节变压器分接头位置的方法，以及自动控制无功补偿设备（如电容器组、调相机）的投切（或运行工况）方法。该功能可通过挂在网络总线上的电压无功控制装置实现。

### 3. 变电站综合自动化系统的体系结构

变电站综合自动化系统从逻辑上可以划分为三层，即变电站层、通信层和间隔层（单元层），通过现场总线连接成有关整体，每层由不同设备或不同的子系统组成，完成不同的功能（图 4-51）。

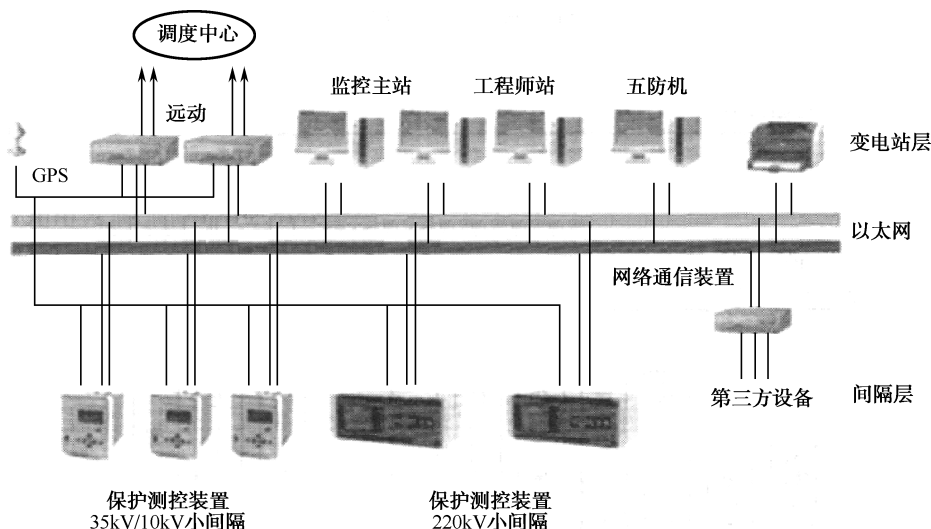


图 4-51 变电站综合自动化系统的体系结构图

#### 1) 间隔层

间隔层是指设备的继电器保护和测控装置层。间隔层分单元进行设计，间隔单元通过数据采集模块实时采集设备的模拟量输入信号，并经离散化和模/数转换成数字量；通过开关量采集模块采集断路器的开合/电度脉冲量等信号，并经电平变换、隔离处理而得到开关量信息。这些数字量和开关量将上传给通信层。

#### 2) 通信层

主要有数据采集控制机和保护管理机组成，主要负责接收从间隔层发送上来的信息，并将信息通过以太网传送到变电站层的监控主机的存储器或数据库中以进一步处理。同时也将该信息传至上级调度中心实时掌握该变电站各设备的运行情况，也可由调度中心直接对设备进行远程终端控制和“四遥”功能。

#### 3) 变电站层

变电站层包括全站的监控主机、工程师机、通信控制机等。该层设现场总线或局域网，供各主机之间和监控主机与间隔层之间交换信息。变电站层的监控主机或称为上位机，在无人值班的变电所主要负责与调度中心的通信；在有人值班的变电站，除了仍然负责与调度中心通信外，还负责人机联系，通过监控机完成当地显示、控制操作、制表打印等任务。大型变电站的综合自动化系统则在变电站层可能没有通信控制机，专门负责与调度中心通信，并设有工程师机，负责软件开发与管理工作。

### 4. 综合自动化系统的通信

通信是变电站综合自动化系统非常重要的基础功能。借助于通信，各电气间隔中的保护测控装置、变电站计算机系统、电网控制中心自动化系统得以相互交换信息和信息共享，提高了

变电站运行的可靠性,减少了连接电缆和鼠标垫数量,实现了变电站的远方监视和控制。变电站自动化系统通信主要涉及以下几个方面的内容,如图 4-52 所示。

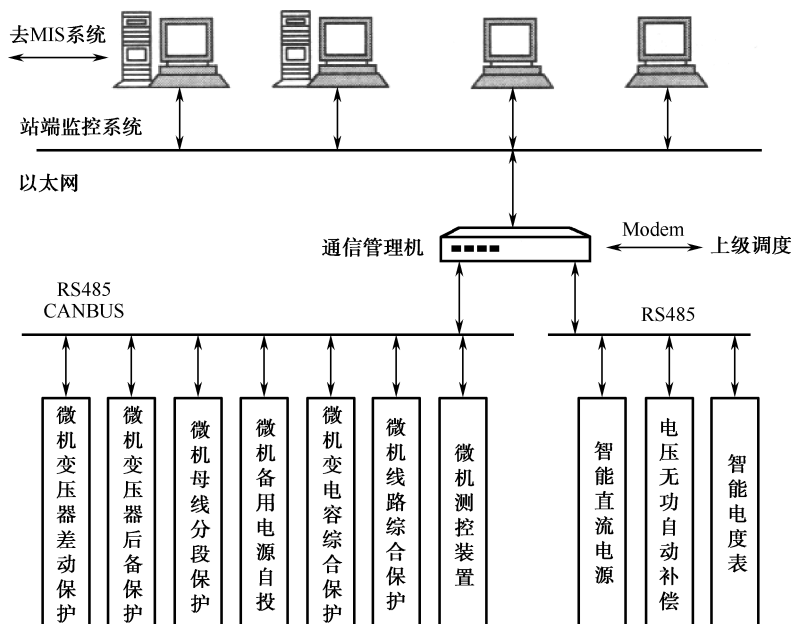


图 4-52 变电站综合自动化系统的信息流通图

- (1) 各保护测控单元与变电站计算机系统通信。
- (2) 各保护测控单元之间相互通信。
- (3) 变电站自动化系统与电网自动化系统通信。
- (4) 变电站计算机系统内部计算机间相互通信。

实现变电站综合自动化的主要目的不仅仅是用于微机为核心的保护和控制装置来代替传统变电站的保护和控制装置,关键在于实现信息交换。通过控制和保护互连,相互协调,允许数据在各功能块之间相互交换,可以提高它们的性能。通过信息交换,互相通信,实现信息共享,提供常规的变电站二次设备所不能提供的功能,减少变电站设备的重复配置,简化设备之间的互连,从整体上提高自动化系统的安全性和经济性,从而提高整个电网的自动化水平。因此,在综合自动化系统中,网络技术、通信协议标准、数据共享等问题是自动化系统的关键问题。

## 实操训练 12 分析变电站综合自动化系统 DF3300 的结构组成和特点

下面以变电站综合自动化系统 DF3300 为例,系统结构组成和特点。

DF3300 变电站自动化系统是一个综合的有机设备系统,它集电力系统、电子技术、自动化、继电保护之大成,以计算机和网络技术为依托,面对变电站通盘设计、优化功能和简化系统,用分层、分布式结构实现了面向对象的设计思想。它用简洁的、高性能的单片机构成的数字智能电子设备(IED)和计算机主机替代了数量大、功能结构单一的继电器、仪表、信号灯、自动装置、控制屏。用计算机局域网(LAN)替代了大量复杂的连接电缆和二次电缆。它在遵循数据信息共享、减少硬件重复配置的原则下,做到继电保护相对独立并有一定的冗余,提高了变电站运行的可靠性,减少了维护工作量并提高维护管理水平。

DF3300 变电站自动化系统可满足国际大电网会议对变电站自动化所提出的 7 个功能要求,即远动功能(四遥功能)、自动控制功能(电压无功综合控制、低频减载、静止无功补偿器控制等)、测量表计功能、接保护功能、与继电保护相配套的功能(故障录波、测距、小电流接地选线等)、接口功能(与微机五防、电源、电能表计、全球定位装置等 IED 的接口);系统功能(与主站通信、当地 SCADA 等)。

DF3300 变电站自动化系统的特点如下:

- (1) 统一的新型结构工艺设计,采用嵌入式结构,可以集中组屏,也可以就地安装。
- (2) 模块支持 IRIG-B 格式硬件对钟。
- (3) 交流采样插件采用 DSP 处理器,可实现高出谐波分析、自动准同期,故障录波等功能。
- (4) 采用 14 位高性能 A/D 采集芯片,提高了数据的分辨率和测量精度。
- (5) 各装置通信接口采用插卡式,可以保证系统的平滑升级,不同的通信处理插板,可完成 FDKBUS、CANBUS、串行口等不同的接口形式,可适应双绞线、光纤等不同通信介质。
- (6) 采用先进的工业级芯片,各装置的 CPU 均采用 Motorola 的 32 位芯片,提高了数据采集的分辨率和测量精度。
- (7) 采用的保护原理成熟可靠,并且已经有丰富的现场运行经验。
- (8) 面向对象软件平台及开放式监控应用平台,内置完善的通信协议库,支持用户控制语言,提供 API 用户应用编程接口。采用大屏幕液晶显示,汉化菜单操作,使用方便。
- (9) DF3300 系统的配置结构如图 4-53 所示,间隔级通信网有两种通信方式:一种采用 CANBUS 现场总线,其最大通信速率为 1.5Mbps;另一种采用 FDKBUS 现场总线,其最大通信速率为 187.5Kbps,最大通信距离为 1200m(加中继器可扩充到 5km)最大连接点数为 127 个,通信介质为屏蔽双绞线或光纤。站级通信网采用以太网,速率为 10Mbps 或 100Mbps,通信媒介采用光纤,通信协议采用 TCP/IP 协议。

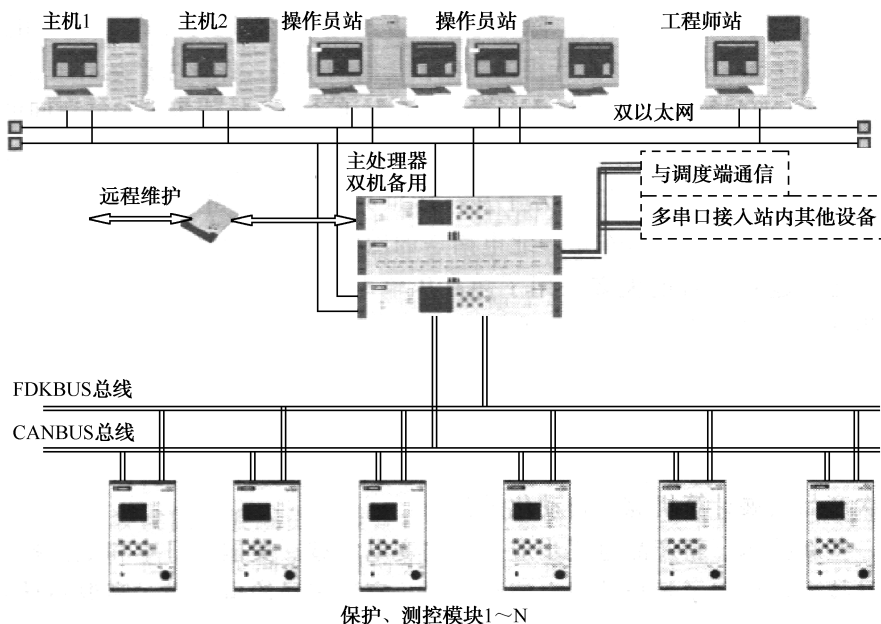


图 4-53 DF3300 变电站自动化系统配置图

系统采用管理单元与保护、控制、测量模块共同构成最小单元的自动化系统，并同远方调度主站通信完成运行管理，以满足中小型变电站自动化需要。系统特别适用于 110kV 及以下无人值班变电站的需要，也可兼容当地单设监控系统。后台机、维护工作站可通过以太网口与通信处理单元相连。

实操训练 13 定时限过电流保护实训

1. 实训的目的

- (1) 掌握由 DL 型电流继电器、DS 型时间继电器、DZ 型中间继电器、DX 型信号继电器组成的过流保护装置的定时限过电流保护系统电路。
- (2) 掌握定时限过流保护电路如何在模拟短路条件下实现短路保护的方法。了解各继电器的动作情况和低压断路器何时自动跳闸。
- (3) 掌握设计定时限过流保护的继电保护线路的设计方法、实现步骤、切除故障的过程。

2. 实训设备

实训设备见表 4-26。

表 4-26 定时限过电流保护实训设备

设备名称	数量	设备名称	数量	设备名称	数量
三相调压器	1 台	升流器	2 台	电流互感器	2 台
DL 型电流继电器	2 只	DS 型时间继电器	1 只	DZ 中间继电器	1 只
DX 信号继电器	1 只	Z10-100/311 低压继电器	1 只		1 只
15W/220V 显示灯，红色	1 只	15W/220V 显示灯，白炽灯	1 只	5W/220V 显示灯，绿色	1 只

3. 实训内容与方法

(1) 实训线路图。

- ① 模拟一次回路（主电路）接线图如图 4-54 所示。
- ② 模拟二次回路（控制回路）接线图如图 4-55 所示。

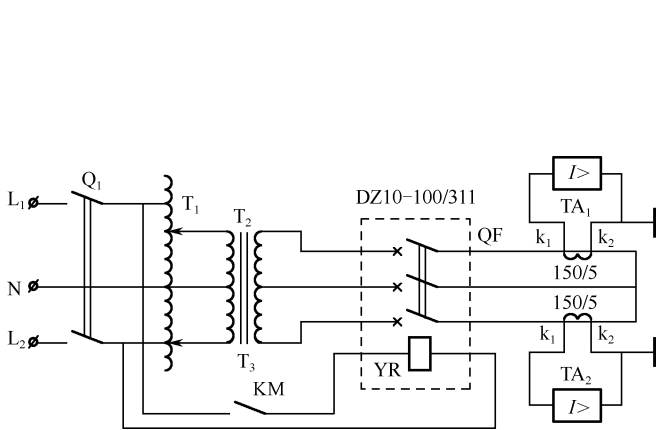


图 4-54 一次回路接线图

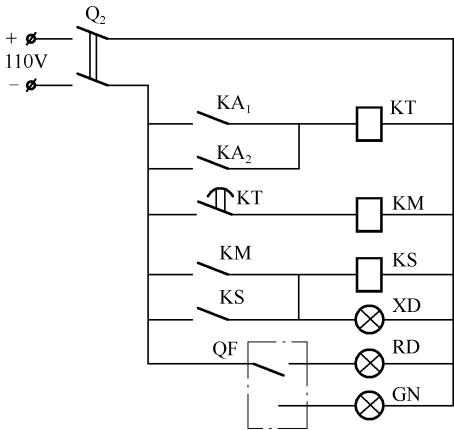


图 4-55 二次回路接线图

(2) 接线注意事项。

- ① 本实训线路复杂，既有交流电源又有直流电源，一次回路接交流电源，二次回路接直流电源。有的继电器线圈接交流电路，而触点接直流电路，因而必须注意不能混接。



② DL 型电流继电器  $KA_1$ 、 $KA_2$  的线圈，接  $TA_1$ 、 $TA_2$  的二次回路。继电器的触点  $KA_1$ 、 $KA_2$  的并联后与 DS 型时间继电器 KT 的线圈串接在直流回路作为启动元件。执行元件 DZ 型中间继电器 KM 的一对触点与低压断路器 QF 的跳闸线圈（即分励线圈）YR 串联后接 220V 交流电源，KM 的另一对触点与信号继电器 KS 线圈串接。

③ DL 型电流继电器与互感器的接线采用一相式接线。

④ DZ10-100 低压断路器的脱扣器线圈采用分励脱扣线圈作为跳闸线圈。

⑤ 电流互感器  $TA_1$ 、 $TA_2$  采用 150/5 的变比。

⑥ 升流器 T2 的二次侧连接导线要采用 YC-35 电焊线，注意接线牢固，以减小接触电阻。

⑦ 电流互感器的二次侧要良好接地或接零。

(3) 实训步骤。

① 按图 4-49 和图 4-50 接线，经检查无误后方可进行以下步骤。

② 将 DL 型电流继电器的动作值调整把手调至 1.5A，DS 型时间继电器的延时动作时限调整为 5s。

③ 合上 DZ10-100 型低压断路器。

④ 合上开关  $QK_1$ 。

⑤ 缓慢旋动调压器旋柄，使输出电压逐渐上升，升流器二次侧电流也同步上升，直到 DL 型电流继电器启动，记下调压器旋柄位置。

⑥ 断开  $QK_1$  后，将调压器旋柄调至进行上一步骤时记下位置电压的 1.5~2 倍（例如，所记下的位置为 100V，则旋至 150~200V），则在这一位置下的升流器二次电流相应为启动电流的 1.5~2 倍。

⑦ 合上开关  $QK_2$ 。

⑧ 合上开关  $QK_1$ ，这时 DL 型电流继电器可靠启动，接通 DS 型时间继电器的电源，经一定时限（5s），其常开触点闭合，接通 DZ 型中间继电器电源，使 DZ 中间继电器常开触点闭合，接通 DZ10-100 低压断路器跳闸线圈，低压断路器跳闸切除电路，同时 DS 型时间继电器触点接通 DX 型信号继电器电源，指示灯亮，通过其常开触点自保持。

⑨ 断开  $QK_1$ 、 $QK_2$ ，结束实训，拆线复位，整理好实训台。

#### 4. 实训结果

过电流保护装置系统实训元件动作顺序记录在表 4-27 中。

表 4-27 过电流保护装置系统实训元件动作顺序

动作顺序号	元 件 名 称							
	KA	KM	KS	KT	QF	RD	GN	XD
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

### 1. 实训的目的

- ## 2. 实训设备

实训设备见表 4-28。

设备名称	数量	设备名称	数量	设备名称	数量
三相调压器	1 台	交流电流表（2.5~5A）	1 只	电流互感器	2 台
GL 型过电流继电器	2 只	电秒表（408 或 407 型）	1 块	升流器	1 只
低压断路器 DZ10-100/320	1 只	15W/220V 显示灯，红色	1 只	5W/220V 显示灯，绿色	1 只
15W/220V 显示灯，白炽灯	1 只				

### 1) 实训接线

- 接线注意：两电流互感器一次侧绕线方式相同，同时注意二次侧极性，应采用两相电流差的接线方式。

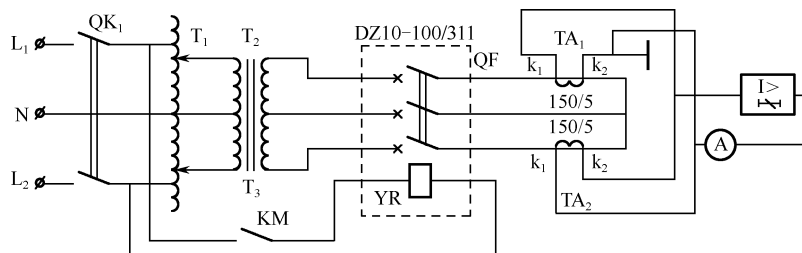


图 4-56 主回路接线图

- 

图 4-57 反时限过电流保护二次回路图

要求：断路器 QF 闭合后红灯 RD 亮，QF 断开后 RD 灭；断路器 QF 闭合后绿灯 GN 灭，QF 断开后 GN 亮。

## 2) 方法与步骤

- (1) 按图 4-51 和图 4-52 接线，检查无误后方可进行以下步骤。
- (2) 预先调整好继电器的启动电流值和 10 倍动作电流时间。 $I_{op}=2A$ ， $t=1s$ 。
- (3) 调压器旋转手轮调回零位。
- (4) 合上 DZ 型低压断路器 QF。
- (5) 合上 QK<sub>1</sub>，控制可偏转框架不动，调节调压器缓慢升压，使电流表指示为 4A 左右，固定调压器旋柄位置不变，断开 QK<sub>1</sub>。
- (6) 合上 QK<sub>1</sub>、QK<sub>2</sub>，GL 型电流继电器动作，经一定时限继电器常开触点闭合，接通 DZ 型断路器 QF 的分励脱扣器 YR 的电源，断路器跳闸保护。相应的显示灯显示断路器的位置状态。
- (7) 断开 QK<sub>1</sub>、QK<sub>2</sub>，拆线复位，整理实训台位。

## 4.5.2 问题与思考

### 一、填空题

1. 过电流保护装置的基本要求有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
2. 线路过电流保护通过反映被保护线路\_\_\_\_\_，超过设定值而使\_\_\_\_\_跳闸的保护。按动作时限特性分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_保护。
3. 线路速断保护会存在\_\_\_\_\_，一般与\_\_\_\_\_保护相配合使用。

### 二、判断题（正确的打√，错误的打×）

4. 低压照明线路保护大多采用低压断路器进行保护。 ( )
5. 线路的过电流保护可以保护线路的全长，速断保护也是。 ( )
6. 三相三线制线路，其两相短路电流的大小是三相短路电流的 0.866 倍。 ( )
7. 过电流继电器的返回系数总是小于 1。 ( )

### 三、选择题

8. 继电保护装置适用于 ( )。
  - A. 可靠性要求高的低压供电系统
  - B. 可靠性要求高的高压供电系统
  - C. 可靠性要求不太高的低压供电系统
  - D. 可靠性要求不太高的高压供电系统
9. 选择下列继电器文字符号填入括号内：电流继电器 ( )、电压继电器 ( )、中间继电器 ( )、时间继电器 ( )、信号继电器 ( )。
  - A. KV
  - B. KT
  - C. KA
  - D. KS
  - E. KM
10. 110kV 线路中常采用 ( ) 接线的继电保护方式，6~10kV 线路中常采用 ( ) 接线的继电保护方式。
  - A. 三相式接线
  - B. 两相式接线
  - C. 两相差式接线
  - D. 一相式接线

#### 四、技能题

11. 变电站综合自动化系统在其测量控制、安全等方面考虑,划分为哪几个系统?
12. 什么是变电站综合自动化系统?其结构体系由哪几个部分组成?各部分作用是什么?
13. 供配电站综合自动化系统的基本功能有哪些?
14. 供配电自动化系统中通信系统的任务和作用是什么?系统传输数据方式有哪几种?

## 项目5 电气主接线倒闸操作

### 【教学目标】

通过学习能够熟悉电力系统的稳定性问题，即静、动稳定；掌握电力系统经济运行方法与措施。掌握防误操作装置达到五防标准和防误操作装置，了解什么是倒闸操作；熟悉倒闸参照的要求及步骤；熟悉倒闸操作的注意事项；掌握断路器和隔离开关的操作原则。掌握照明的基本知识及照明灯具，照明负荷的供电方式及相关线路导线的选择。掌握节约用电的意义、方法和节能的一般措施。

### 【项目描述】

本项目先介绍电气主接线的倒闸操作，让学生熟悉电力系统的静、动稳定性问题与系统经济运行的方法与措施。在倒闸操作过程中掌握防误操作装置达到五防标准和防误操作装置等。然后适当介绍照明与照明负荷的供电方式及相关线路导线的选择。节约用电的意义、方法和节能的一般措施。

### 任务1 电气倒闸操作

### 【任务描述】

倒闸操作是电力系统保证安全、经济供配电的一项经常性的复杂而细致的工作。所以，倒闸操作时应应对倒闸操作的要求和步骤十分熟悉，并在实际执行中严格遵守规章制度，认真执行倒闸操作监护制度，正确实现电气设备状态的改变和转换，以保证电网安全、稳定、经济的连续运行。

### 【知识链接】

#### 5.1.1 电力系统静、动稳定及其保持的基本措施

稳定性问题是与电力系统发展密切相关的，对一个孤立的发电厂或较小规模的小区域供配电系统来讲，它们两者并列运行的稳定性问题不是十分重要，当许多发电厂及大型机组并列运行在同一电力系统时，随着容量和地区的扩大，电力系统运行的稳定性则趋显重要。电力系统的稳定性来源于系统的静稳定和动稳定，当失去稳定时，系统内的同步发动机将失步，系统发生振荡，其后果将造成系统解列、甚至造成大面积用户停电，使国民经济遭受巨大损失。

##### 1. 电力系统的静稳定

##### 1) 影响静稳定性的原因

电力系统的稳定，即系统运行的静态稳定性，指正常运行的电力系统受到很小的扰动之后，自动恢复到原来运行状态的能力。

电力系统所受到的扰动主要有架空线路因风吹动、摆动引起线间距离的变化、发电机转子转速的不均匀和发电机组受到微小的机械振动等。不管哪一种变化,如果它的后果使电力系统静态稳定遭受破坏,都将可能导致发电机失步,系统解列,大批负荷停电。

从整个系统来看,若要保证其良好的静稳定性,应从整个系统布局,用电负荷中心、线路的送电距离等方面统筹安排、精心计算,采用正确的运行方法,防止重要线路跳闸后引起负荷电流的变化,使系统的稳定受到破坏。

## 2) 维护电力系统静稳定性的措施

(1) 减小系统各元件的感抗。主要减小发电机、变压器和输电线路的电抗,措施如下:

- ① 在水力发电厂,根据具体情况选择适当参数的发电机组。
- ② 减小变压器电抗。

在远距离输电系统中常使用分裂导线、串联电容器、提高电压等级措施减小线路电抗以提高系统的稳定性。

(2) 采用自动调节励磁装置。采用自动调节励磁装置的方法既经济又有效。这种方法是在发电机上装设自动调节励磁装置,维持发电机的端电压恒定不变,以实现减小发电机电抗,从而达到减小系统电抗的目的。自动调节励磁装置不仅在提高发电厂并列运行的稳定性方面有良好的作用,而且在提高系统的电压稳定性方面也有良好的作用。电抗较大的发电机,在其端电压下降时,输出的无功功率减小;电抗较小的发电机,在其端电压下降时,输出的无功功率减小较缓慢,甚至增大;当发电机装有自动调节励磁装置时,则可等值地减小发电机的电抗,甚至随着发电机端电压的下降还会使无功功率电压静态特性上升,达到电力系统电压稳定极限值下降的效果,以提高系统的电压稳定性。

(3) 采用按周波(频率)减负荷装置。按事先制定的程序,当系统频率下降到某一定值而不能满足电能质量,同时也不能保证发电机组的运行,不能保证动力系统的运行时,可自动切除一部分次要负荷,当未恢复到需要状态时,再切除部分负荷的装置称为采用周波减负荷装置。系统内装设低周波减负荷装置,可阻止系统频率继续下降,从而对系统频率的稳定起到良好的作用。但是,按周波减负荷势必降低一部分用户供电的可靠性,所以,它是一种“牺牲局部、保护全局”的应急措施。

(4) 增大电力系统的有功功率和无功功率的备用容量。

## 2. 电力系统的动稳定

电力系统动的稳定是指当电力系统和发电机在正常运行时受到较大干扰,使电力系统的功率发生相当大的波动时,系统能保持同步运行的能力。

### 1) 造成动稳定波动的原因

- (1) 负荷的突然变化,例如,切除或投入大容量用电设备。
- (2) 切除或投入电力系统的某些元件,如发电机组、变压器、输电线路等。
- (3) 电力系统内发生短路故障。

上述因素中,短路故障是最危险的,对中性点直接接地系统而言,三相短路由于该系统电压急剧下降,严重威胁电力系统运行的动态稳定性。

### 2) 维护电力系统动稳定性的措施

提高动态稳定性的措施很多,主要有以下几种措施:

- (1) 快速切除短路故障。快速切除短路故障,对提高动态稳定性具有决定性的作用。快

速切除短路故障,可有效地提高电厂之间并列运行的稳定性;还可使电动机的端电压迅速回升,提高电动机的稳定性;减少由于短路电流而引起的过热或机械损伤对电气设备造成的危害。目前,我国使用快速切除保护装置仅用 0.1s 的时间即可将故障部分从系统切除。

(2) 采用自动重合闸装置。由于电力系统内的故障大多为瞬时性,特别是超高压输电线路的故障。采用自动重合闸装置后,在故障发生时由保护装置将断路器断开,经一定时限又能自动将这一线路投入运行,从而提高了系统的稳定性。

在 220kV 及以上的超高压线路中,使用按相重合闸装置,这种装置可以自动找出故障相,切除故障相,并使之重合。由于切除的只是故障相,而不是三相,在切除故障相后至重合闸前的一段时间里,使处于单回线输电系统送电端的发电厂与受电端的系统没有完全失去联系,从而大大提高了系统的动态稳定性。

(3) 采用电气制动和机械制动。

① 电气制动。电气制动就是当系统发生故障时,发电机输出的功率急剧减小,发电机组因功率过剩而加速时,迅速投入制动电阻,额外消耗发电机的有功功率,以抑制发电机加速,提高电力系统的动态稳定性。

制动电阻接入系统时,可以是串联接入发电厂的主电路,也可以是并联接入发电厂的高压母线上或发电机母线上。

采用电气制动提高系统的动态稳定性时,制动电阻的大小要选择恰当,否则,会发生欠制动,不能限制发电机的加速,发电机仍然会失步,或发生过制动。

② 机械制动。机械制动是直接在发电机组的转轴上施加制动力矩,抵消机组的机械功率,以提高系统动态稳定性的方法。

(4) 变压器中性点经小电阻接地。变压器中性点经小电阻接地的作用原理与电气制动十分相似。在故障发生时,短路电流中的零序分量零序电流将经过变压器的中性点流入大地,在所接的电阻上产生有功功率损耗。当故障发生在送电端时,这一损耗主要由送电端发电厂供给;故障发生在受电端时,则主要由受电端系统供给。所以,当送电端发生接地短路故障时,由于送电端发电厂要额外供给这部分有功功率损耗,所以能使发动机受到的加速作用减缓,即这些电阻中的功率损耗起到了制动作用,从而提高了系统的动态稳定性。

应当提出的是,由于接地故障发生在靠近受电端时,受电端变压器中性点所接的小电阻中消耗的有功功率主要是由受电端系统供给的,如果受电端系统容量不够大,将使受电系统中的电动机加剧减速,因此,这一电阻不仅不能提高系统的动态稳定性,反而将使系统的动态稳定性恶化。针对这一情况,受电端变压器中性点一般不接小电阻,而是接小电抗。

变压器中性点接小电抗的作用原理与接小电阻不同,只是起限制接地短路电流的作用,或者说,它增大了接地短路时功角特性曲线幅值,从而减小发电机的输入功率与输出功率之间的差额,提高了系统的动态稳定性。

(5) 设置开关站和采用强行串联电容补偿。这两种措施缩短了故障切除后的“电气距离”,可以提高电力系统的动态稳定性。

① 设置开关站。当输电线路相当长,而沿途又没有大功率的用户需要设置变电站时,可以在输电线路中间设置开关站。

设置开关站后,当输电线上发生永久性故障而必须切除线路时,可以做到不将整个回路从系统切除,而只切除其故障段。这样,不仅提高了发生故障时的动态稳定性,而且提高了故

障后的静态稳定性，改善了故障后的电压质量。

② 采用强行串联电容补偿。如果为了提高电力系统正常运行时的静态稳定性，改善正常运行时的电压质量，已经在线路上设置串联电容补偿，那么，为了系统的动态稳定和故障后静态稳定性，以及改善故障后的电压质量，可以考虑采用强行串联电容补偿的方法。

采用强行串联电容补偿，就是在切除故障线段的同时切除部分并联的电容器组。并联电容器组的切除，增大了补偿电容的电抗，部分甚至全部抵偿了由于切除故障线段而增加的线路感抗。

采用于上两种措施提高电力系统动态稳定性时，应注意以下几个问题：

(1) 统筹规划。在设计上，从节约投资出发，串联电容补偿，强行串联补偿的接线应与开关站或中间变电站的接线统一考虑。

(2) 开关站的多少应从技术与经济方面综合确定。开关站的地点应考虑到沿线工农业负荷的发展，尽可能设置在远景规划中拟建中间变电站的地方。

(3) 开关站的接线布置应兼顾到便于扩建为变电站的可能性。

(4) 采用强行串联补偿时，电容器组的额定电流比不采用强行串联补偿时大；否则，切除部分电容器后，系统将过负荷。

除以上所述几点外，还可采用连续切除发电机组及使用快速气门控制装置来提高系统的动态稳定性。

### 5.1.2 电力系统经济运行方法与措施

电力系统的经济运行应包括电网的经济运行、发电厂的经济运行、变电站的经济运行，以及整个电力系统的经济运行。由于这个问题较为复杂，仅就电力网、发电厂、变配电站的经济运行作简要说明。

#### 1. 电力网的经济运行

电力网的年运行费用可用下列计算公式表示，即

$$F = \alpha \Delta A + P_Z/100 \cdot K + P_W/100 + N \quad (\text{元}) \quad (5-1)$$

式中  $\alpha$ ——电能电价，元/度；

$\Delta A$ ——电力网全年的电能损耗，kW·h；

$K$ ——电力网的初投资，元；

$N$ ——电力网的维护管理费，元；

$P_Z$ ——电力网的折旧率，又称折旧费占初投资的百分数；

$P_W$ ——电力网的维修率，又称维修费占初投资的百分数。

从式(5-1)可以看出，要想降低年运行费用，主要是降低电力网全年的电能损耗。其方法有以下几种。

#### 1) 提高电力网负荷的功率因素，降低电能损耗

提高电能的功率因素  $\cos \varphi$ ，是降低电能损耗的有效措施。提高负荷的功率因素，就要减小电力网通过的无功功率，一般采取如下措施：

(1) 合理选择电动机的规格型号，提高用户的功率因素。异步电动机在能量转换过程中需要有功功率，同时也需要无功功率。异步电动机所需的无功功率由两部分组成：一部分是建立磁场所需的空载无功功率，约为总无功功率的 60%~70%，这部分无功功率与电动机的负荷



系数无关；另一部分是绕组漏抗中消耗的无功功率，这部分无功功率约占总无功功率的 30%，与电动机的负荷系数平方成正比。

当电动机的负荷系数较小时，用户的功率因数就很低，因此，应尽量使用户的负荷系数趋近于 1。

为了减小用户所需要的无功功率，通常在有条件的企业中用同步电动机代替异步电动机。因为同步电动机不仅可以不需要系统供给无功功率，在过励磁情况下向系统送出无功功率。除了异步电动机需要无功功率外，变压器、感应电炉等设备也都需要无功功率，因此，合理地选择变压器容量，并限制变压器空载运行时间，也是提高功率因数的重要措施。

(2) 利用并联补偿装置提高用户的功率因数。合理选择异步电动机及变压器容量，可以提高系统的功率因数，降低电能损耗，但不能完全限制无功功率在电网中通过，在用户处或靠近用户的变电站中，装设无功功率补偿设备，可以就地平衡无功功率，限制无功功率。

### 2) 提高电力网运行的电压水平，降低电能损耗

提高电力网运行的电压水平，是降低电力网电能损耗的措施之一。电力网运行时，线路电压越高，电流越小，故线路损耗就越小。因此，电力网在运行时，在不超过允许的情况下，应尽量提高运行电压水平，以降低电能损耗。据统计，线路运行电压提高 5%，电能损耗就可降低 9%，效果很明显。

### 3) 改变电力网的接线及运行方式，降低电能损耗

在有条件的地方，可将开式网改为闭式网运行，这也是降低电力网电能损耗的措施之一。例如，有 A、B、C、D 四台变压器，A~B、B~C、C~D 和 D~A 的距离相等，每一条辐射电网都是均布负荷，负荷密度平均，并设材料和截面也都相等，当电力网开始运行时改为闭式运行，其有功功率的损耗可降低很多。

## 2. 发电厂的经济运行

目前，我国电力系统的发电厂主要有水力发电厂、凝汽式火力发电厂和热电厂等类型。水力发电厂一般建立在江河等水力资源丰富的地方，距离负荷中心较远。为了节约燃料运输费用，火力发电厂通常建在煤炭、燃油等动力资源丰富的产地，距离负荷中心也较远。热电厂则一般建在负荷中心。电力系统经济运行与否，不仅要考虑系统内各电厂的类型、电力网功率损耗的大小，而且还应考虑各种类型发电厂在电力系统日负荷曲线和年负荷曲线中的位置是否合理。电力系统在统一的调度下，应按负荷曲线的不同部分，调整各类型发电厂的负荷，以保证系统运行的经济性。

火力发电厂在运行时由于要烧燃料，在一般情况下，电厂中的多台汽轮机发电机组的特性是不同的，有的机组单位发电量消耗燃料多一些，有的机组则可能消耗的少一些。因此，经济运行问题可归结为如何正确安排系统各机组的发电量，使总的燃料消耗达到最少。

## 3. 变配电站的经济运行

变配电站的经济运行，实际上就是变压器的经济运行。合理地选择变压器容量，将变压器设置在负荷中心，可以提高电力网的功率因素，减小变配电站低压侧线路的长度，还可降低电力网的功率损耗与电能损耗。合理确定变配电站的变压器并列运行台数，使其总功率损耗减小。这一点在前面已经讲到，此处不再赘述。

### 5.1.3 变配电所一次系统的防误操作装置

防误操作装置的作用是防止误操作，要求达到五防标准：防止误拉合断路器；防止带负荷拉合隔离开关；防止带接地线合闸；防止带电挂接地线，防止误入有电间隔。变配电所常用的防误操作装置有机械闭锁、电磁闭锁、电气闭锁、红绿配牌闭锁、微机闭锁等。

#### 1. 机械闭锁

当某单元操作后，另一元件就不能操作的闭锁方式称为机械闭锁，这是靠机械结构制约而达到预定目的的一种闭锁，机械闭锁一般有以下几种：

- (1) 线路（变压器）隔离开关和线路（变压器）接地开关闭锁。
- (2) 线路（变压器）隔离开关和断路器与线路（变压器）侧接地开关闭锁。
- (3) 母线隔离开关和断路器母线侧接地开关闭锁。
- (4) 电压互感器隔离开关和电压互感器接地隔离开关闭锁。
- (5) 电压互感器隔离开关和所属母线接地开关闭锁。
- (6) 旁路旁母隔离开关和旁母接地开关闭锁。
- (7) 旁路旁母隔离开关和断路器旁母侧接地开关闭锁。

由于机械闭锁只能和本身隔离开关处的接地开关进行闭锁，所以，如果需要和断路器及其他隔离开关或接地开关进行闭锁，机械闭锁就无能为力了。为了解决这一问题，应采用电气闭锁和电磁闭锁。

#### 2. 电磁闭锁

电磁闭锁是利用断路器、隔离开关、设备网门等设备的辅助触点，接通或断开隔离开关网门电磁锁电源，从而达到闭锁目的的装置。一般有下列几种：

- (1) 线路（变压器）隔离开关或母线隔离开关和断路器闭锁。
- (2) 正、副母线隔离开关之间的闭锁。
- (3) 母线隔离开关和母联（分段）断路器、隔离开关的闭锁。
- (4) 所有旁路隔离开关和旁路断路器闭锁。
- (5) 母线接地隔离开关和所有母线隔离开关闭锁。
- (6) 断路器母线侧接地隔离开关和另一母线隔离开关闭锁。
- (7) 线路（变压器）接地开关和线路（变压器）隔离开关、旁路隔离开关闭锁。
- (8) 旁路母线接地开关和所有旁路隔离开关闭锁。
- (9) 母线隔离开关和设备网门之间的闭锁。
- (10) 线路（变压器）隔离开关和设备网门之间的闭锁。

#### 3. 电气闭锁

电气闭锁是利用断路器、隔离开关副触点接通或断开电气操作电源而达到闭锁目的的一种装置，普遍用于电动隔离开关和电动接地开关，一般有以下几种：

- (1) 线路（变压器）隔离开关或母线隔离开关的滤清器闭锁
- (2) 正、副母线隔离开关之间的闭锁。
- (3) 母线隔离开关和母联（分段）断路器、隔离开关的闭锁。
- (4) 所有旁路隔离开关和旁路断路器闭锁。
- (5) 母线接地隔离开关和所有母线隔离开关闭锁。

(6) 断路器母线侧接地隔离开关和母线隔离开关之间的闭锁。另一母线隔离开关闭锁。

(7) 线路(变压器)接地开关和线路(变压器)隔离开关、旁路隔离开关之间的闭锁。

#### 4. 红绿牌闭锁

这种闭锁方式通常用在控制开关上,利用控制开关的分合两种位置和红绿牌配合,进行定位闭锁,以防止误拉、合断路器。

#### 5. 微机防误操作闭锁(模拟盘)

微机防误操作闭锁装置又称电脑模拟盘,是专门为电力系统防止电气误操作事故而设计研制的,由电脑模拟盘、电脑钥匙、机械编码几部分组成。可以检验及打印操作票,同时能对所有的一次设备强制闭锁。具有功能强、使用方便、安全简单、维护方便等优点,特别适用于无功早期投运的变电所,可以省去大量二次电缆安装工作。该装置以电脑模拟盘为核心设备,在主机内预先存储了所有设备的操作原则,模拟盘上所有的模拟元件都有一对触点与主机相连。当运行人员接通电源在模拟盘上预演、操作时,微机就根据预先存储好的规则对每一项操作进行判断,如操作正确则发出一声表示操作正确的声音信号;如果操作错误,则通过显示器闪烁显示错误操作项的设备编号,并发出持续的报警声,直至将错误项复位为止。预演结束后,可通过打印机打印出操作票,通过模拟盘上的传输插座,还可以将正确的操作内容输入到电脑钥匙中,然后运行人员就可以拿着电脑钥匙到现场进行操作。操作时,运行人员依据电脑钥匙上显示的设备编号,将电脑钥匙插入相应的编码锁内,通过其探头检测操作的对象是否正确,若正确则闪烁显示被操作设备的编号,同时开放其闭锁回路或机构就可以进行倒闸操作了。操作结束后,电脑钥匙自动显示出下一项操作内容。若跑错仓位不能开锁,同时电脑钥匙发出持续的报警声以提醒操作人员,从而达到强制闭锁的目的。

使用电脑模拟盘闭锁,最重要的一点是必须保证该模拟盘的正确性,即和现场设备的实际位置完全一致,这样才能达到防误装置的要求。

#### 6. 防误装置

运行人员在倒闸操作中,应牢记防误装置是防止运行人员的人身安全、设备安全和防止误操作的关键设备,但是由于防误装置本身存在着一些缺陷,操作中有时会失灵,同时有些特殊情况必须要解除闭锁才能操作,例如,断路器机构故障要停电隔离只能先拉隔离开关等。任何解锁操作均必须得到有关调度的同意。严禁不认真核对设备铭牌和实际位置就随意解锁造成误操作事故。在解锁操作中必须遵守下列规定。

(1) 防误装置解锁钥匙的保管:运行人员不准随身携带解锁钥匙,解锁钥匙应放在专用信封内封好保管,作为每次交接班内容之一。

(2) 操作中必须解锁时应做到如下:

① 操作人、监护人发现防误装置失灵时,应停止操作,一同离开操作现场,到控制室向值班长或站长汇报防误装置失灵情况。经值班长或所长与至少两名值班员检查设备实际位置,确认解锁不会发生误操作后,才可向当值调度申请使用防误解锁钥匙进行操作。例如,线路停电恢复操作,应到达现场检查该断路器在断开位置,线路断路器绿灯亮,控制表盘计指示为零;倒母线操作应到达现场检查母联分段断路器在合上位置,母联分段控制盘上断路器红灯亮,三相电流表计有指示。

② 值班长将上述情况向当值调度汇报,在调度同意使用防误解锁钥匙进行操作后,值班长应在解锁操作记录簿上做好记录,才可拆开解锁信封取出防误解锁钥匙交给监护人使用。

③ 操作人和监护人使用防误解锁钥匙进行操作时，更应认真执行倒闸操作监护制度，再次检查设备的实际位置，认真核对铭牌，防止发生误操作事故。解锁操作只允许在当值调度员批准的内容中进行。

④ 操作结束后，监护人将防误解锁钥匙交还值班长，值班长应将防误解锁钥匙装入专用信封并封好，按值移交，并将缺陷情况填写缺陷单上报。

#### 5.1.4 断路器的运行

高压断路器是变电站高压电气设备中的重要设备之一。断路器的作用是切合工作电流和及时断开该回路的故障电流。当线路发生故障时，与保护装置配合，将故障部分从电网中快速切除，以减小停电范围，防止事故扩大，保证电网无故障部分正常运行。

##### 1. 高压断路器的正常运行

###### 1) 断路器运行操作的要求

- (1) 严禁将拒绝跳闸的断路器投入运行。
- (2) 禁止将有严重缺油、严重漏油或严重漏气的断路器投入运行。
- (3) 电动合闸时，应监视控制电流表的读数，以防合闸电流过大烧坏断路器的合闸线圈。
- (4) 电动跳闸时，若发现绿灯不亮，红灯已灭，应立即拔掉断路器操作回路控制保险，以防烧坏跳闸线圈。

(5) 断路器合闸后，因拉杆断裂造成一相未合闸，造成缺相运行时，应立即停止运行。

###### 2) SF<sub>6</sub> 断路器运行的有关规定

###### (1) 正常运行及操作时的安全技术措施：

① SF<sub>6</sub> 断路器装于室内时，距地面人体最高处应设置含氧量报警装置和 SF<sub>6</sub> 泄漏报警仪。当含氧量低于规定值时应发警报信号。SF<sub>6</sub> 泄漏报警仪在含氧量浓度超过  $10^{-3}$  时应发警报。这些应定期检测，保证完好。

② 为防止低凹处工作缺氧窒息事故，工作前应先开启 SF<sub>6</sub> 断路器底部通风机进行排风，进入低凹处工作前，应先用含氧量报警装置检测含氧量，含氧量浓度应大于 18%，用检漏仪检测 SF<sub>6</sub> 浓度，应不大于  $10^{-3}$ 。

③ 在 SF<sub>6</sub> 断路器进行正常操作时，禁止任何人在设备外壳上工作，并离开设备，直至操作结束为止。

###### (2) SF<sub>6</sub> 断路器发生故障造成气体外溢时的安全技术措施：

① 人员迅速撤离现场，并立即投入全部通风装置。

② 在事故发生 15min 以内，人员不准进入室内；在 15min 以后，4h 以内，人员进入室内都必须穿防护衣，戴手套及防毒面具。4h 以后进入室内进行清扫，仍须采取上述安全措施。

③ 若故障时有人被外溢气体侵袭，应立即送医院诊治。

###### (3) SF<sub>6</sub> 气体压力监视内容：

① 每周抄表一次，必要时根据实际情况增加次数。

② 为使环境温度与 SF<sub>6</sub> 断路器内部气体温度尽可能一致，抄表时间应选择在日气温较平稳的一段时间末尾进行。通过抄表以便及早发现可能漏气的趋势。

③ 通过抄表发现压力降低或巡视时发现有异味，应立即通知有关专业人员检查处理。

## 2. 高压断路器的技术监督

### 1) 运行监督

- (1) 每年对断路器安装地点的母线短路容量与断路器铭牌作一次校核。
- (2) 对断路器作出运行分析, 不断积累运行经验。
- (3) 对断路器动作次数进行统计, 正常操作次数和短路故障时跳闸次数应分别进行统计。

### 2) 绝缘监督

- (1) 定期进行预防性试验。
- (2) 设备大修时, 同样应规定进行必要的电气试验。

### 3) 检修监督

- (1) 应按有关检修工艺过程, 定期进行断路器的大、小修。
- (2) 运行人员应监督断路器大、小修计划的执行, 大修报告应存入设备专档, 对发现的缺陷和检修中未能消除的缺陷记入设备缺陷记录中。
- (3) 对使用液压机构的断路器, 运行人员应及时记录液压机构油泵启动情况和次数, 记录断路器短路故障分闸次数和正常操作次数, 为临时性检修提供依据。

### 4) 绝缘油油质监督

- (1) 新油或再生油使用前应按有关规定的项目进行试验, 注入断路器后再取样实验, 结果存入设备档案。
- (2) 断路器在运行时, 应按规定周期对绝缘油定期试验。
- (3) 对绝缘油试验发现有水分或电气绝缘强度不合格, 以及可能影响断路器安全运行的其他不合格项目时, 应及时处理。
- (4) 对缺油的断路器补充同一牌号的绝缘油, 如需与其他牌号混用需进行混油试验。

### 5) 断路器用压缩空气质量监督

- (1) 高压储气罐底部输水阀每天清晨放水一次, 直至无水雾喷出时为止。
- (2) 应定期对断路器本体储气罐、工作储气罐、工作母管进行排污。
- (3) 定期对断路器及空气管路系统的过滤器进行清洗过滤网。
- (4) 空压机停机时, 对空压机出口处的排污阀进行排污。

### 6) 断路器 SF<sub>6</sub> 气体质量监督

- (1) 新装 SF<sub>6</sub> 断路器投运之前必须复测断路器本体内部气体的含水量和漏气率, 灭弧室气室的含水量应小于  $1.5 \times 10^{-4}$  (体积比), 其他气室应小于  $2.5 \times 10^{-4}$  (体积比), 断路器年漏气率小于 1%。

- (2) 运行中的 SF<sub>6</sub> 断路器应定期测量 SF<sub>6</sub> 气体含水量, 新装或大修后, 每三个月一次, 待含水量稳定后可每年一次, 灭弧室气室含水量应小于  $3 \times 10^{-4}$  (体积比), 其他气室小于  $5 \times 10^{-4}$  (体积比)。

- (3) 新装或检修时, 断路器内的 SF<sub>6</sub> 气体严禁向大气排放, 必须使用 SF<sub>6</sub> 气体回放装置回收。
- (4) SF<sub>6</sub> 断路器需补气时, 应使用检验合格的 SF<sub>6</sub> 气体。

## 3. 断路器正常运行的巡视检查

对断路器的检查, 应按现场运行规程的规定, 每天至少巡视 1~2 次。

### 1) 油断路器的巡视检查项目

- (1) 断路器的分、合位置指示正确, 并与当时实际运行情况相符。

- (2) 主触点接触良好不发热, 有关测温元件(示温蜡片、变色漆)无熔化、变色现象。
- (3) 套管油位正常, 油色透明无炭黑悬浮物。
- (4) 断路器本体无渗, 漏油痕迹, 放油阀关闭紧密。
- (5) 套管、瓷瓶无裂痕, 无放电声和电晕。
- (6) 引线的连线部位接触良好, 无发热。
- (7) 接地良好。
- (8) 防雨帽无鸟窝。
- (9) 户外断路器栅栏完好, 设备附近无杂草和杂物。
- (10) 户内配电室的门窗、通气及照明良好。

#### 2) 空气断路器的巡视检查项目

- (1) 断路器的分、合位置指示正确, 并与当时实际运行情况相符。
- (2) 维持断路器瓷套内壁正压的通风指示正常。
- (3) 配电箱压力表指示在正常气压范围内, 箱内及连接管道和断路器本体无漏气声。
- (4) 绝缘子、瓷套无破损, 无裂纹及放电痕迹。
- (5) 运行中断路器的供气阀在开启位置。
- (6) 断路器储气罐、工作母管定期排污, 空气压缩机定期换油及添油。
- (7) 各接点无发热。
- (8) 灭弧室排气孔的挡板应关闭, 无积水或鸟巢。
- (9) 接地完好。
- (10) 设备周围无杂草、杂物。

#### 3) SF<sub>6</sub>断路器的巡视项目

- (1) 每日定时记录 SF<sub>6</sub>气体的压力和温度。
- (2) 断路器各部分及管道无异常音响(漏气、振动声)及异味。
- (3) 套管无裂痕, 无放电声和电晕。
- (4) 引线接点无发热。
- (5) 断路器分、合位置指示正确, 并与当时实际运行工况相符。
- (6) 落地罐式断路器应检查防爆膜有无异常。
- (7) 接地良好。
- (8) 设备周围无杂草、杂物。

#### 4) 电磁机构的巡视检查项目

- (1) 机构箱门平整, 开启灵活, 关闭紧密。
- (2) 检查分、合闸线圈及合闸接触器线圈有无冒烟、异味。
- (3) 直流电源回路接线端子有无松动、脱落及氧化现象。
- (4) 加热器正常完好。

#### 5) 液压机构的检查项目

- (1) 机构箱门平整, 开启灵活, 关闭紧密。
- (2) 检查油箱、油位是否正常, 有无渗漏油。
- (3) 高压油的油压在允许范围内。
- (4) 机构箱内无异味。

(5) 加热器正常完好。

#### 6) 弹簧机构的检查项目

(1) 机构箱门平整，开启灵活，关闭紧密。

(2) 断路器在运行状态，储能电动机的电源闸刀应在闭合位置。

(3) 检查储能电动机，行程开关接点无卡位和变形，分合闸线圈无冒烟、异味。

(4) 断路器在分闸备用状态时，分闸连杆应复归，分闸锁扣到位，合闸弹簧应储能。

(5) 防潮加热器良好。

#### 4. 断路器的特殊巡视

(1) 在系统或线路发生事故使断路器跳闸后，应对断路器进行下列检查：

① 检查有无喷油现象，油色、油位是否正常。

② 检查油箱有无变形现象。

③ 检查各部位有无松动、损坏，瓷件是否断裂等。

④ 检查各引线接点有无发热、熔化。

(2) 高峰负荷时，应检查各发热部位是否发热变色，示温片有无熔化、脱落。

(3) 天气突变，气温骤降时应检查油位是否正常，连接导线是否紧密等。

(4) 下雪天，应观察各接头处有无融雪现象，以便判断接点有无发热。

(5) 雪天、浓雾天气，检查套管有无严重的放电闪络现象。

(6) 雷雨、大风过后，检查套管瓷件有无闪络痕迹，室外断路器上有无杂物，导线有无松动现象。

### 5.1.5 电气倒闸操作

变配电所的电气设备有运行、热备用、冷备用和检修四种不同的状态。使电气设备从一种状态转换到另一种状态的过程称为倒闸，此过程中进行的操作称为倒闸操作。

#### 1. 运行人员在倒闸操作中的责任与任务

倒闸操作是电力系统保证安全、经济供配电的一项极为重要的工作。值班人员必须严格遵守规章制度，认真执行倒闸操作监护制度，正确实现电气设备状态的改变和转换，以保证电网安全、稳定、经济的连续运行。倒闸操作人员的责任和任务如下：

(1) 正确无误地接受当值调度员的操作预令，并记录。

(2) 接受工作票后，认真审查工作票中所列安全措施是否正确、完备，是否符合现场条件。

(3) 根据调度员或工作票所发任务填写操作票。

(4) 根据当值调度员的操作指令按照操作票操作，操作完成后进行一次前面检查。

(5) 向调度员汇报并在操作票上盖“已执行”章，并按要求将操作情况记入运行记录。

(6) 收存操作票于专用夹中。

#### 2. 倒闸操作现场必须具备的条件

正确执行倒闸操作的关键一是发令、受令准确无误，二是填写操作票准确无误，三是具体操作过程要防止失误。除此之外，倒闸操作现场还必须具备以下条件：

(1) 变配电所的电气设备必须标明编号和名称，字迹清楚、醒目，不得重复，设备有传动方向指示、切换指示，以及区别相位的漆色，接地闸刀垂直连杆应漆黑色或黑白环色。

(2) 设备应有防误操作装置，如达不到，必须经上级部门批准。

(3) 各控制盘前后, 保护盘前后、端子箱、电源箱等均应标明设备的编号、名称, 一块控制盘或保护盘有两个及以上回路时要划出明显的红白分界线。运行中的控制盘、保护盘盘后应有红白遮栏。

(4) 变配电所内要有与实际电路相符合的电气一次系统模拟图和继电保护图。

(5) 变配电所要备有合格的操作票, 还必须根据设备具体情况制订出现场运行有关规程、操作注意事项和典型操作票。

(6) 要有合格的操作工具和安全用具, 如验电器、验电棒、绝缘棒、绝缘手套、绝缘靴和绝缘垫等, 接地线和存放架均应编号并对号入座。

(7) 要有统一的、确切的调度术语, 操作术语。

(8) 值班人员必须经过安全教育、技术培训, 熟悉业务和有关规章制度, 经上岗考试合格后方能担任副值、正值或值班长, 接受调度命令进行倒闸操作或监护工作。

(9) 值班人员如调到其他所值班时必须按第(8)条规定执行。

(10) 新的值班人员必须经过安全教育技术培训 3 个月, 培训后由所长、培训员考查合格后, 经工区批准才可担任实习副值, 而且必须在双监护下才能进行操作。

(11) 值班人员在离开值班岗位 1~3 个月, 再回到岗位上时必须复习规章制度, 并经所长和培训员考核合格后方可上岗工作。离开岗位 3 个月以上者, 要经上岗考核合格后方能上岗。

### 3. 设备倒闸操作的规定

#### 1) 断路器操作

(1) 操作断路器基本要求。

① 断路器无影响安全运行的缺陷。断路器开断容量应满足母线短路电流要求, 若断路器开断容量等于或小于母线短路电流时, 断路器与操动机构之间应有金属隔板或用墙隔离。有条件时应进行远方操作, 重合闸装置应停用。

② 断路器位置指示器应与指示灯信号及表针指示对应。

③ 断路器合闸前, 应检查继电保护按规定投入。分闸前考虑所带负荷的安排。

④ 一般不允许用手动机械合断路器。

⑤ 液压机构在压力异常信号发出时, 禁止操作弹簧储能机构。在储能信号发出时, 禁止合闸操作。

⑥ 断路器跳闸次数接近检修周期时, 需解除重合闸装置。

⑦ 操作时控制开关不应返回太快, 应待红、绿灯信号发出后再放手, 以免分、合闸线圈短时通电而拒动。电磁机构不应返回太慢, 防止辅助开关故障, 烧毁合闸线圈。

⑧ 断路器合闸后, 应确认三相均以接通, 自动装置已按规定设置。

(2) 操作断路器时应重点检查的项目。

① 根据电流及现场机械指示等检查断路器位置。

② 有表计实时监控的断路器应逐项检查电流、负荷和电压情况。

③ 操作前应检查控制回路、液压回路是否正常, 检查操动机构是否正常, 如果储能机构已储能, 则开关具备运行操作条件。

④ 对油和空气断路器, 还应检查油断路器的油色、油位及断路器气体压力和空气断路器储气罐压力是否在规定范围内。

⑤ 对长期停运的断路器, 在正式执行操作票前应通过远方控制方式进行 2~3 次试操作,



无异常情况方能按操作票拟订方式操作。

⑥ 发现异常情况时，应立即通知操作人员和专业人员，并进行有关处理。

### (3) 断路器操作。

① 用控制开关拉合断路器，不要用力过猛，以免损坏控制开关，操作时不要返回太快，以免断路器合不上或拉不开。

② 设备停役操作前，对终端线路应先检查负荷是否为零。对并列运行的线路，在一条线路停役前应考虑有关整定值的调整，并注意在该线路拉开后利用线路是否过负荷。如有疑问应问清调度后再操作。断路器合闸前必须检查有关继电保护是否已按规定投入。

③ 断路器操作后，应检查与其相关的信号，如红绿灯、光字示牌的变化，测量表计的指示。装有三相电流表的设备，应检查三相表计，并到现场检查断路器的机械位置以判断断路器分合的正确性，避免由于断路器假分假合造成误操作事故。

④ 操作主变压器断路器停役时，应先拉开负荷侧后拉开电源侧，送电操作时顺序相反。

⑤ 若母线装有差动保护，当断路器检修或二次回路工作后，断路器投入运行前应先停用母线差动保护再合上断路器，充电正常后才能用上母差保护，并且有负荷电流时必须测量母差不平衡电流应为正常值。

⑥ 断路器出现非全合闸时，首先要恢复其全相运行。当两相合上一相合不上时，应再合一次，如仍合不上则应将合上的两相拉开；如一相合上两相合不上时，则应将合上的一相拉开，然后再作其他处理。

⑦ 断路器出现非全相分闸时，应立即设法将未分闸相拉开，如仍拉不开应利用母联或旁路进行倒换操作，之后通过隔离开关将故障断路器隔离。

⑧ 对于储能机构的断路器，检修前必须将能量释放，以免检修时引起人员伤亡。检修后的断路器必须放在分开位置上，以免送电时造成带负荷闭合隔离开关的误操作事故。

⑨ 断路器累计分闸或切断故障电流的次数达到规定时，应停止检修。还要特别注意当断路器跳闸次数只剩有一次时，应停用合闸，以免故障重合时造成跳闸引起断路器损坏。

### 2) 隔离开关操作

(1) 操作隔离开关的基本要求和注意事项。

① 操作前应确保断路器在相应分、合闸位置，以防带负荷拉合隔离开关。

② 操作中，如发现绝缘子严重破损，隔离开关传动杆严重损坏等严重缺陷时，不得进行操作。

③ 进行隔离开关倒闸操作时，应严格监视隔离开关的动作情况，如发现卡涩和隔离开关有声音，应查明原因，并进行处理，严禁强行操作。

④ 隔离开关、接地开关和断路器之间安装有防误操作的闭锁装置时，倒闸操作一定要按顺序进行，如倒闸操作当闭锁不能操作时，应查明原因，正常情况下不得随意解除闭锁。

⑤ 如确实因闭锁装置失灵而造成隔离开关和接地开关不能正确操作时，必须严格按闭锁要求的条件，检查相应的断路器和隔离开关的位置状态，只有在核对无误后才能解除闭锁进行操作。

⑥ 解除闭锁后应按规定方向迅速、果断地操作，发生了带负荷拉隔离开关的误操作，禁止再返回原状态，以免造成事故扩大，但也不要用力过猛，以防损坏隔离开关；对单极刀闸，合闸时先合两边相，后合中间相，拉闸时，顺序相反。

⑦ 拉、合开关应符合有关规程的规定。

⑧ 对具有远方控制操作功能的隔离开关，一般应在主控室进行操作，只有在远控电气操作失灵时，得到所长和技术负责人许可后，且有现场监督的情况下在现场就地进行电动或手动操作。

⑨ 远方控制操作完毕应检查隔离开关的实际位置，以免因控制回路中传动机构故障而出现拒分、拒合现象，同时应检查隔离开关的触点是否到位。发现隔离开关绝缘子断裂时，应根据规定拉开相应断路器。

⑩ 操作时，应戴好安全帽、绝缘手套，穿好绝缘靴。

(2) 带负荷拉、合隔离开关的处理。

① 带负荷错拉隔离开关时，在动触点刚离开固定触点时，便产生电弧，这时应立即合上，以消除电弧，避免事故，如隔离开关已全部拉开，则不许将误拉的隔离开关再合上。

② 带负荷合隔离开关时，如发生弧光，应立即将隔离开关合上，即使发现合错，也不准将隔离开关再拉开，只能用断路器断开该回路后，才允许将误合的隔离开关拉开，因为带负荷拉隔离开关会造成三相弧光短路故障。

(3) 隔离开关的操作。

① 拉合隔离开关前必须查明有关断路器和隔离开关的实际位置，隔离开关操作后应查明实际分合位置。

② 手合上隔离开关时，必须迅速果断。在隔离开关快合到底时，不能用力过猛，以免损坏支持绝缘子。当合到底时发现有弧光或为误合，不准再将隔离开关拉开，以免由于误操作而发生带负荷拉隔离开关，扩大事故。

③ 手动拉开隔离开关时，应慢而谨慎。如触点刚分离时发生弧光应迅速合上并停止操作，立即检查是否为误操作而引起电弧。值班人员在操作隔离开关前，应先判断拉开该隔离开关是否会产生弧光。在确保不发生差错的前提下，对于会产生的弧光操作则应快而果断，尽快使电弧熄灭，以免烧坏触点。

④ 装有电磁闭锁的隔离开关当闭锁失灵时，应严格遵守对防误装置进行解锁时的规定，认真检查设备的实际位置，并得到当班调度员同意后，方可解除闭锁进行操作。

⑤ 电动操作的隔离开关如遇到电动失灵，应查明原因和与该隔离开关有闭锁关系的所有断路器、隔离开关、接地开关的实际位置，正确无误后才可拉开隔离开关操作电源而进行手动操作。

⑥ 隔离开关操作机构的定位销操作后一定要销牢，以免滑脱发生事故。

⑦ 隔离开关操作后，检查操作应良好，合闸时三相同期且接触良好；分闸时判断断口张开角度或闸刀拉开距离应符合要求。

3) 母线操作应遵循的原则

用开关向不带电的母线充电时，应使用充电保护。用其他保护代替时，保护方向应指向被充电的母线或短接保护的功率方向元件，必要时调整保护整定值。

倒母线操作，即由一条母线倒换部分或全部元件至另一条母线，首先应使母联断路器及两侧隔离开关均在合位，并取下母联断路器的操作熔断器，方可进行倒闸操作。其目的是防止在母联断路器原先断开或因其他原因使母联断路器断开的情况下，操作人员未及时发现，造成带负荷拉合隔离开关或带电源拉合隔离开关的误操作事故。必要时也可改变母线保护原先方



式，待操作完毕后投入母联断路器的熔断器。倒母线操作时，应注意采取措施，防止电压互感器二次反充电，避免运行中电压互感器熔断器熔断而使保护失压误动。

4) 倒闸操作标准设备名称及操作术语

(1) 常用操作标准设备名称。

主变（所变）、开关（断路器）、闸刀（刀闸）、接地闸刀（刀闸）、母线、线路、压变、流变、电缆、避雷器、电容器、电抗器、消弧、令克（跌落式熔断器）、保护。

(2) 常用操作术语。

- ① 开关：刀闸、接地闸刀、令克合上、拉开。
- ② 接地线：装设、拆除。
- ③ 各种熔丝：放上，取下。
- ④ 继电保护及自动装置：启用、停用。
- ⑤ 压板：放上、取下、投入、退出、或从××位置切至××位置，短路并接地。
- ⑥ 交、直流回路各种转换开关：从××位置切至××。
- ⑦ 二次空气开关：合上、分开。
- ⑧ 二次回路小闸刀：合上、拉开。

(3) 倒闸操作票的格式见表 5-1。

表 5-1 变配电所倒闸操作票格式 编号：

操作开始时间：年 月 日 时 分 终了时间： 日 时 分									
操作任务：									
	顺序			操作项目					
备注									

操作人： 监护人： 工作许可人：

实操训练 15 模拟工厂供电倒闸操作实训

1. THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置简介

THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置是根据机械工业职业技能鉴定指导中心编写的《高级电工技术》、《电工基础》（高级工适用）、《电工技师培训教材》结合《工厂供电》《供配电技术》等课程由天煌教义公司研制生产的，工厂供电技术实训装置（见任务 4 的图 4-44）所示。

THSPGC-1 型工厂供电技术实训装置是由工厂供配电网络单元、微机线路保护及其设置单元、10kV 母线低压减载单元、电秒表计时单元、微机电机保护及其设置单元、电动机组启动及复合控制单元、PLC 控制单元、仪表测量单元、有载调压分接头控制单元、无功自动补偿控制单元、备自投控制单元、上位机系统管理单元、接口备用扩展单元及电源单元构成。

该装置主要对教材中的 35kV 总降压变电所、10kV 高压变电所及车间用电负荷的供配电线路中涉及的微机继电保护装置、备用电源自动投入装置、无功自动补偿装置、智能采集模块,以及工业人机界面等电气一次、二次、控制、保护等重点教学内容进行设计开发和研制,通过该装置中的技能实际操作,能在深入理解专业知识的同时,培养学生的实践技能。有利于学生理解和掌握变压器、电动机、互感器、开关设备的工作原理和接线方式。

## 2. 模拟工厂供配电电力网络单元

整个工厂的供配电网络一次主接线线路结构如图 4-45 所示。

本系统模拟有 35kV、10kV、380V/220V 三个不同电压等级的中型工厂供电系统。通过操作面板上的按钮和选择开关可以接通和断开线路,进行系统模拟倒闸操作。

## 3. 实训原理说明

### (1) 倒闸操作的具体要求:

倒闸操作是指按规定实现的运行方式,对现场各种开关(断路器及隔离开关)所进行的分闸或合闸操作。

① 变配电所的一次、二次设备要有明显的标志,包括命名、编号、铭牌转动方向、切换位置的指示,以及区别电气相别的颜色等。

② 要有与现场设备标志和运行方式相符合的一次系统模拟图,继电保护和二次设备还应有二次回路的原理图和展开图。

③ 要有考试合格并经领导批准的操作人和监护人。

④ 操作时不能单凭记忆,应在仔细检查了解操作地点及设备的名称编号后,才能进行操作。

⑤ 操作人不能依赖监护人,而应对操作内容完全做到心中有数。否则,操作中容易出问题。

⑥ 在进行倒闸操作时,不要做与操作无关的工作或闲谈。

⑦ 处理事故时,操作人员应沉着冷静,不要惊慌失措,要果断地处理事故。

⑧ 操作时应有确切的调度命令、合格的操作或经领导批准的操作卡。

⑨ 要采用统一的、确切的操作术语。

⑩ 要用合格的操作工具、安全用具和安全设施。

### (2) 倒闸操作的步骤(变配电所的倒闸操作可参照下列步骤进行):

① 接受主管人员发出的口令。值班人员接受主管人员的操作任务和命令时,一定要记录清楚主管人员所发的任务或命令的详细内容,明确操作目的和意图。在接受预发命令时,要停止其他工作,集中思想接受命令,并将记录内容向主管人员复诵,核对其正确性。对枢纽变电所重要的倒闸操作应有两人同时听取和接受主管人员的命令。

② 填写操作票。值班人员根据人员的口令,核对模拟图,核对实际设备,参照典型操作票,认真填写操作票,在操作票上逐项填写操作项目。填写操作票的顺序不可颠倒,字迹要清楚,不得涂改,不得用铅笔填写。而在事故处理、单一操作、拉开接地刀闸或拆除全所仅有一组接地线时,可不用操作票,但应将上述操作记入运行日志或操作记录本上。

③ 审查操作票。操作票填写后,写票人自己应进行核对,认为确定无误后再交监护人审查,监护人应对操作票的内容逐项审查。对上一班预填的操作票,即使不在本班执行,也要根据规定进行审查。审查中若发现错误,应由操作人重新填写。

④ 接受操作命令。在主管人员发布操作任务或命令时,监护人和操作人应同时在场,仔细听清主管人员所发布的任务和命令,同时要核对操作票上的任务与主管人员所发布的是否完

全一致。并由监护人按照填写好的操作票向发令人复诵。经双方核对无误后在操作票上填写发令时间，并由操作人和监护人签名。只有这样，这份操作票才合格可用。

⑤ 预演。操作前，操作人、监护人应先在模拟图上按照操作票所列的顺序逐项唱票预演，再次对操作票的正确性进行核对，并相互提醒操作的注意事项。

⑥ 核对设备。到达操作现场后，操作人应先站准位置核对设备名称和编号，监护人核对操作人所站的位置、操作设备名称及编号应正确无误。检查核对后，操作人穿戴好安全用具，取立正姿势，眼看编号，准备操作。

⑦ 唱票操作。监护人看到操作人准备就绪，按照操作票上的顺序高声唱票，每次只准唱一步。严禁凭记忆不看操作票唱票，严禁看编号唱票。此时，操作人应仔细听监护人唱票，并看准编号，核对监护人所发命令的正确性。操作人认为无误时，开始高声复诵，并用手指编号，做操作手势。严禁操作人不看编号复诵，严禁凭记忆复诵。在监护人认为操作人复诵正确、两人一致认为无误后，监护人发出“对，执行”的命令，操作人方可进行操作，记录操作开始的时间。

⑧ 检查。每一步操作完毕后，应由监护人在操作票上打一个“√”号。同时两人应到现场检查操作的正确性，如设备的机械指示、信号指示灯、表计变化情况等，以确定设备的实际分合位置。监护人认可后，应告诉操作人下一步的操作内容。

⑨ 汇报。操作结束后，应检查所有操作步骤是否全部执行，然后由监护人在操作票上填写操作结束时间，并向主管人员汇报。对已执行的操作票，在工作日志和操作记录本上作好记录。并将操作票归档保存。

⑩ 复查评价。变配电所值班负责人要召集全班，对本班已执行完毕的各项操作进行复查、评价并总结经验。

(3) 牢记倒闸操作的注意事项（进行倒闸操作应牢记并遵守下列注意事项）：

① 倒闸操作前必须了解运行、继电保护及自动装置等情况。

② 在电气设备送电前，必须收回并检查有关工作票，拆除临时接地线或拉下接地隔离开关，取下标识牌，并认真检查隔离开关和断路器是否在断开位置。

③ 倒闸操作必须由两人进行，一人操作一人监护。操作中应使用合格的安全工具，如验电笔、绝缘手套、绝缘靴等。

④ 变配电所上空有雷电活动时，禁止进行户外电气设备的倒闸操作；高峰负荷时要避免倒闸操作；倒闸操作时不进行交接班。

⑤ 倒闸操作前考虑继电保护及自动装置整定值的调整，以适应新的运行方式。

⑥ 备用电源自动投入装置及重合闸装置，必须在所属主设备停运前退出运行，所属主设备送电后再投入运行。

⑦ 在倒闸操作中应监视和分析各种仪表的指示情况。

⑧ 在断路器检修或二次回路及保护装置上有人工作时，应取下断路器的直流操作熔断器，切断操作电源。油断路器在缺油或无油时，应取下油断路器的直流操作熔断器，以防系统发生故障而跳开该油断路器时发生断路器爆炸事故。

⑨ 倒母线过程中拉或合母线隔离开关、断路器旁路隔离开关及母线分段隔离开关时，必须取下相应断路器的直流操作熔断器，以防止带负荷操作隔离开关。

⑩ 在操作隔离开关前，应先检查断路器确在断开位置，并取下直流操作熔断器，以防止

操作隔离开关过程中因断路器误动作而造成带负荷操作隔离开关的事故。

(4) 停送电操作时拉合隔离开关的顺序:

操作隔离开关时,绝对不允许带负荷拉闸或合闸。故在操作隔离开关前,一定要认真检查断路器所处的状态。为了在发生错误操作时能缩小事故范围,避免人为扩大事故,停电时应先拉线路侧隔离开关,送电时应先拉合母线侧隔离开关。这是因为停电时可能出现的误操作情况:断路器尚未断开电源而先拉隔离开关,造成了带负荷拉隔离开关;断路器虽已断开,但在操作隔离开关时由于走错间隔而进行了错误的操作,使不该停电的设备停电。

(5) 变压器的倒闸操作:

① 变压器停送电操作顺序。送电先送电源侧,后送负荷侧;停电操作顺序与此相反。

按上述顺序操作的原因:由于变压器主保护和后备保护大部分装在电源侧,送电时,先送电源,在变压器有故障的情况下,变压器的保护动作,使断路器跳闸切除故障,便于按送电范围检查、判断及处理故障;送电时,若先送负荷侧,在变压器有故障的情况下,对小容量变压器,其保护均装在电源侧,此时,保护拒动,这将造成越级跳闸或扩大停电范围。对大容量变压器,均装有差动保护,无论从哪一侧送电,变压器故障均在其保护范围内,但大容量变压器的后备保护(如过流保护)均装在电源侧,为取得后备保护,仍按先送电源侧后,送负荷侧为好。停电时,先停负荷侧,在负荷侧接有电源的情况下,可避免变压器反充电;反之,将会造成变压器反充电,并增加其他变压器的负担。

② 凡有中性点接地的变压器,变压器的投入或停用,均应先合上各侧中性点接地隔离开关。变压器在充电状态,其中性点隔离开关也应合上。

中性点接地隔离开关合上的目的:其一,可以防止单相接地产生过电压和避免产生某些操作过电压,保护变压器绕组不致因过电压而损坏;其二,中性点接地隔离开关合上后,当发生单相接地时,有接地故障电流流过变压器,使变压器差动保护和零序电流保护动作,将故障点切除。如果变压器处于充电状态,中性点接地隔离开关也应在合闸位置。

③ 两台变压器并联运行,在倒换中性点接地隔离开关时,应先合上中性点未接地的接地隔离开关,再拉开另一台变压器中性点接地的隔离开关,并将零序电流保护切换至中性点接地变压器上。

④ 变压器分接开关的切换。无载分接开关的切换应在变压器停电状态下进行,分接开关切换后,必须用欧姆表测量分接开关接触电阻合格后,变压器方可送电。有载分接开关在变压器带负荷状态下,可手动或电动改变分接头位置,但应防止连续调整。

#### 4. 实训内容与步骤

##### 1) 送电操作

变配电所送电时,一般从电源侧的开关合起,依次合到负荷侧的各开关。按这种步骤进行操作,可使开关的合闸电流减至最小,比较安全。如果某部分存在故障,该部分合闸便会出现异常情况,故障容易被发现。但是在高压断路器—隔离开关及低压断路器—刀开关电路中,送电时用电要按照先操作母线侧隔离开关或刀开关,再操作线路侧隔离开关或刀开关,最后操作高压或低压断路器的顺序。

(1) 在“WL<sub>1</sub>”或“WL<sub>2</sub>”上任选一条进线,在此以选择进线 I 为例:合上隔离开关 QS<sub>111</sub>,拨动“WL<sub>1</sub>进线电压”电压表下面的凸轮开关,观察电压表的电压是否正常,有无缺相现象。然后再合上隔离开关 QS<sub>113</sub>,接着合上断路器 QF<sub>11</sub>,如一切正常,合上隔离开关 QS<sub>115</sub>和断路

器 QF<sub>13</sub>，这时主变压器投入。

(2) 拨动 10kV 进线 I 电压表下面的凸轮开关，观察电压表的电压是否正常，有无缺相现象。如一切正常，依次合上隔离开关 QS<sub>213</sub> 和断路器 QF<sub>21</sub>、QF<sub>23</sub>，再依次合上隔离开关 QS<sub>215</sub> 和断路器 QF<sub>24</sub>、隔离开关 QS<sub>216</sub> 和断路器 QF<sub>25</sub>、隔离开关 QS<sub>217</sub> 和断路器 QF<sub>26</sub>，给一号车间变电所、二号车间变电所、三号车间变电所送电。

### 2) 停电操作

变配电所停电时，应将开关拉开，其操作步骤与送电相反，一般先从负荷侧的开关拉起，依次拉到电源侧开关。按这种步骤进行操作，可使开关分断产生的电弧减至最小，比较安全。

### 3) 断路器和隔离开关的倒闸操作

倒闸操作步骤：合闸时应先合功率开关，再合断路器；拉闸时应先断开断路器，然后再拉开隔离开关。

## 5.1.6 问题与思考

1. 什么是倒闸操作？倒闸操作应具备哪些条件？
2. 断路器不能进行分闸、合闸操作时应如何处理？断路器不能进行全相分闸、合闸操作时应如何处理？
3. 变配电所在运行过程中如果进线突然停电，为何把出线开关全部拉开？
4. 送电过程中为什么要先合隔离开关后合断路器？如果不按这样的操作顺序会产生什么样的后果？
5. 在供配电系统中有哪些常用的防误操作装置？
6. 隔离开关的闭锁条件有哪些？

## 任务 2 工厂电气照明

### 【任务描述】

工厂照明分为自然照明和人工照明。自然照明就是利用天然采光。本项目主要介绍人工照明。电气照明是人工照明中应用最广的一种照明方式，实践证明，安全生产、保证产品质量、提高劳动生产率、保证职工视力健康与照明有密切关系。因此，工厂电气照明的设计是工厂供电系统设计的组成部分。

本项目主要研究工厂照明系统的光源、灯具及其布置方式。首先介绍照明技术的基本知识，接着介绍常用灯具的类型及选择与布置，介绍工厂的电气照明负荷的供电方式和计算方式及相关线路导线的选择，实际操作安装白炽灯和荧光灯线路，通电进行检验。

### 【知识链接】

#### 5.2.1 电光源

能发光的物体称为光源，靠外部供给电能而发光的光源称为电光源，为理解电光源的性能，先介绍光源的一些光学特性。

## 1. 基本知识

### 1) 光通量

光源在单位时间内向周围空间辐射出使人眼产生光感的能量，称为光源的光通量，用符号  $\Phi$  表示。其单位为流明 (lm)。电光源所发出的光通量  $\Phi$  与该电光源所消耗的电功率  $P$  之比，称为电光源的发光效率。发光效率是电光源的重要技术参数。电光源的单位用电所发出的光通量越大，光效率越高。

### 2) 光强

电光源在某一方向单位立体角内辐射的光通量，即发光的强弱程度，称为电光源在该方向上的光强度。符号为  $I$ ，单位是坎特拉 (cd)。用公式表示为

$$I = \Phi / \Omega \quad (5-2)$$

式中  $\Omega$  ——空间立体角；

$\Omega = A/r^2$ ，如图 5-1 所示；

$R$  ——球的半径；

$A$  ——是与  $\Omega$  相对应的球表面积。

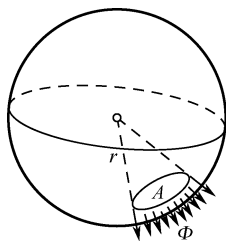


图 5-1 立体角  $\Omega$  的示意图

### 3) 照度

受物体表面单位面积 ( $A$ ) 上接受的光通量称为照度。符号为  $E$ ，单位是勒克斯 (lx)。用公式表示为

$$E = \Phi / A \quad (5-3)$$

在照明设计中，照度是一个很重要的物理量。

### 4) 亮度

人眼从不同角度观察同一发光表面，常有明亮程度不同的感觉，这是因为在不同的角度人眼视网膜上形成的照度不同而引起的。因此，我们把发光体在视线方向单位投影面上的发光强度称为亮度。符号为  $L$ ，单位为  $\text{cd}/\text{m}^2$ 。

如图 5-2 所示，设发光体表面法线方向的光强为  $I$ ，而人眼视线与发光体表面法线成  $\alpha$  角，因此，视线方向的光强为  $I_\alpha = I \cos \alpha$ ，而视线方向的投影面积为  $A_\alpha = A \cos \alpha$ ，则发光体在视线方向的亮度表达式为

$$L = I_\alpha / A_\alpha = I \cos \alpha / A \cos \alpha = I / A \quad (5-4)$$

从上式看出，发光体的亮度与视线方向无关。当发光体表面的亮度相当高时，对视觉会引起不舒适的感觉或降低观察物体的能力，所产生的视觉现象称为眩光。它是人的视觉特性，是由人眼的生理特点所决定的。眩光的程度决定于眼睛距离发光体的远近和方向。照明设计中，应尽量限制直射或反射光，可采用保护角较大的灯具或磨砂玻璃的灯具，也可提高灯具的悬挂



高度来解决。

### 5) 物体的光照性能

光投射到物体上时, 将光通量分成三部分, 一部分从物体表面反射出去, 一部分物体本身吸收, 而剩余部分则透过物体, 如图 5-3 所示。

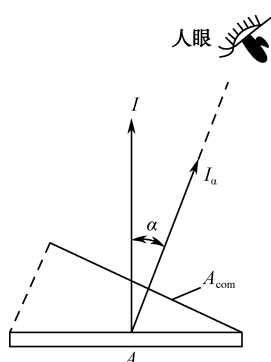
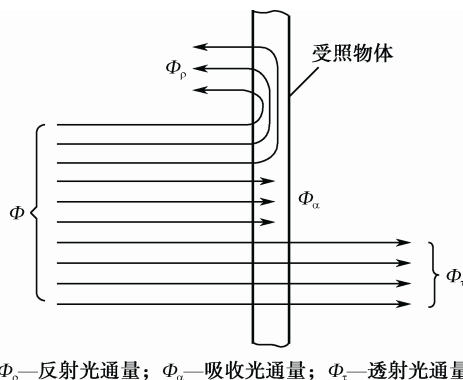


图 5-2 亮度说明示意图



Φ<sub>p</sub>—反射光通量; Φ<sub>a</sub>—吸收光通量; Φ<sub>t</sub>—透射光通量

图 5-3 光通投射到物体上的情形

物体的光照性能可用下面的三个系数来表明。

反射系数:  $\rho = \Phi_p / \Phi$ 。

吸收系数:  $\alpha = \Phi_a / \Phi$ 。

透射系数:  $\tau = \Phi_t / \Phi$ 。

以上三个系数应满足:  $\rho + \alpha + \tau = 1$ 。

反射系数是照明技术中重要的参数, 它直接影响工作面的照度。

### 6) 光源的颜色

光源的颜色用色温和显色指数来衡量。

(1) 光源的色温。光源的色温是指光源的发光颜色与黑体(能全部吸收光能的物体)所辐射光的颜色相同(或相近)时黑体的温度。单位为 K(开尔文)。

色温是灯光颜色给人直观感觉的度量, 不同的色温给人不同的冷暖感觉, 色温越高感觉越凉, 色温越低感觉越温暖。白炽灯的色温为 2400K(10W)~2920K(1000W), 日光色荧光灯的色温为 6500K。在不同的照度下, 光源的色调给人的感受也不同, 见表 5-2。

表 5-2 不同照度、不同色温下光源色调的感受

照度/lx	光源色调的感觉		
	暖色 (<3300K)	中间色 (3300~5300K)	冷色 (>5300K)
≤500	愉快的	中间的	阴冷的
500~1000	刺激的	愉快的	中间的
1000~2000			
2000~3000			
≥3000	不自然	中间的	愉快的

(2) 光源的显色性能。光源对被照物体颜色显现的性质称为光源的显色性。用显色指数

$Ra$  作为表示光源显色性能和视觉上失真程度好坏的指标。物体的颜色以日光的参考光源照射下的颜色为准,被测光源的显色指数越高,说明该光源的显色性能越好,物体在该光源的照射下的失真度越小。

## 2. 工厂常用的电光源

电光源按其发光原理分为两种:一种是热辐射光源,如白炽灯、卤钨灯;另一种是气体放电光源,如高压汞灯、高压钠灯、荧光灯等。下面简介其各自的工作原理。

### 1) 白炽灯

白炽灯是靠电能将灯丝(钨丝)加热到白炽状态而发光,如图 5-4 所示。白炽灯的灯丝通常用钨制成,这是由于它的熔点高蒸发率小的原因。白炽灯结构简单,价格低廉,使用方便,而且显色性好,应用最广泛。但它发光率低,使用寿命短,且不耐震。现在利用新的技术和材料,努力改善白炽灯的性能。例如,采用新的硬质玻璃作为外壳,缩小灯的体积,增加灯内气压,可进一步抑制灯丝的蒸发,延长灯的寿命。

白炽灯适用于无剧烈震动的工业和民用建筑物照明。

### 2) 卤钨灯

卤钨灯是在白炽灯的基础上改进而得,是在灯泡内充入一定比例卤素或卤化物的气体,它的发光原理与白炽灯相同,在通电后灯丝被加热至白炽状态而发光。普通白炽灯在使用过程中,由于灯丝蒸发出来的钨沉积在灯泡内壁上导致玻璃壳体发黑,降低了透光性,使发光效率降低,从而减少钨丝的使用寿命,卤钨灯的性能改进,主要是卤钨循环原理的作用。当卤钨灯起燃后,灯丝温度较高,被蒸发的钨和卤素在靠近灯管壁附近合成卤化钨,使钨不致沉积在管壁上,防止灯管发黑。卤化钨又在高温灯丝附近被分解,其中有些钨沉积回灯丝上去,这就是卤钨循环。卤钨灯的外形如图 5-5 所示。

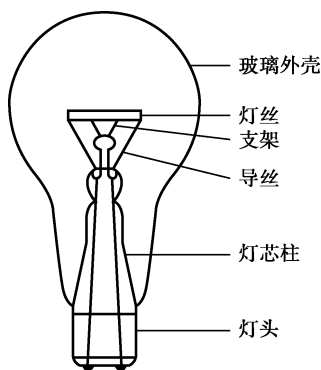


图 5-4 白炽灯的结构

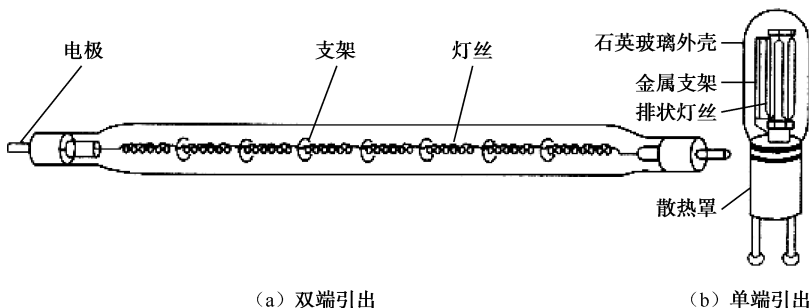


图 5-5 卤钨灯外形

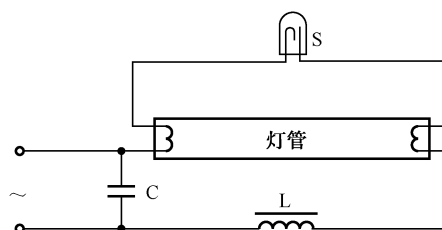
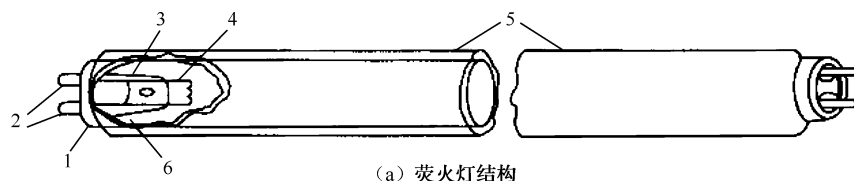
卤钨灯广泛应用于一些拍摄现场、舞台、展厅、广场、工业厂房建筑等照明。

### 3) 荧光灯

荧光灯又称为日光灯,是利用管内汞蒸气在外加电压的作用下放电产生的紫外线,激发涂在管壁内的荧光粉而发光。荧光灯同白炽灯相比使用寿命较长,发光效率较高,照明柔和,眩光影响小,色温接近白天的自然光,显色性能好。荧光灯常用于办公场所、教学场所、商场、城市广告与住宅照明等,在电气照明中应用广泛。

直管形荧光灯的外形结构与接线如图 5-6 所示,图中, S 是启辉器,它有两个电极,其中

一个弯成 U 形的电极是双金属片。当电源开关闭合后, 电源电压加在启辉器的两个电极间, 引起辉光放电, 致使双金属片加热伸开。造成两极短接, 电流通过灯丝使荧光灯的钨丝电极加热, 使管内少量的汞气化。灯丝加热后启辉器辉光放电停止, 双金属片冷却收缩, 突然断开灯丝加热回路, 使镇流器 (L) 两端产生很高的电动势, 连同电源加在灯管两端, 使充满汞蒸气的灯管击穿, 产生弧光放电。辐射出紫外线, 紫外线投射到荧光粉上, 激发荧光粉而使整个灯管发出像日光的光线。在电源的两端并联一电容器, 可将功率因数提高到 0.95 以上。



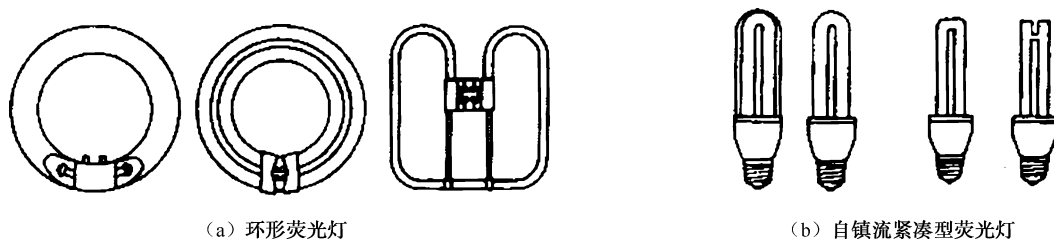
(b) 荧光灯等效电路

1—灯头；2—灯脚；3—玻璃芯柱；4—灯丝（钨丝，电极）；5—玻管（内框涂荧光粉，充惰性气体）；6—汞（少量）

图 5-6 直管形荧光灯外形结构与接线

荧光灯工作时, 灯光会随着加在灯管两端电压的周期变化而发生频繁闪烁, 称为频闪效应。这种现象可通过双灯互补法来消除, 即在一个灯具内安装两根灯管, 各灯管分别接在不同相的线路上。

除直管形荧光灯外还有环形荧光灯和紧凑型荧光灯, 如图 5-7 所示。



(a) 环形荧光灯

(b) 自镇流紧凑型荧光灯

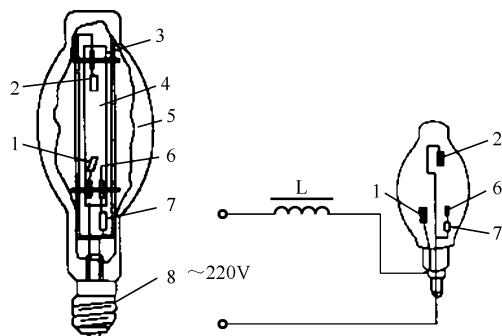
图 5-7 其他荧光灯外形结构

环形荧光灯的玻璃外壳制成环形, 它是直管形荧光灯的改进型。通常采用插脚式灯头, 属于单端荧光灯。由于具有造型美观, 容易和各种灯具相配合, 在居住环境应用较多。

紧凑型荧光灯是将灯管弯曲或拼凑成一定形状, 以缩短灯管的长度。其管径细, 大多采用稀土荧光粉和集成式的电子镇流器, 也可配电感镇流器。常把配有电子镇流器的紧凑型荧光灯称为节能灯（自镇流紧凑型荧光灯），它的发光效率、色温、寿命都很好, 改善了频闪效应, 由于使用了与白炽灯一样的螺口灯头盒插口灯头, 使用方便, 所以广泛地应用于照明。

#### 4) 高压汞灯

高压汞灯又称高压水银灯，是荧光灯的改进产品，它是利用汞放电时产生的高气压获得可见光的光源。它不需要启辉器来预热灯丝，但必须与相应功率的镇流器串联使用，结构如图 5-8 所示。工作时，第一主电极与辅助电极间首先击穿放电，使管内的汞蒸发，导致第一主电极与第二主电极间击穿，发生弧光放电，使管壁的荧光粉受激，产生大量的可见光。高压汞灯发光效率高、省电，使用寿命较长但有明显的频闪，显色性较差，启动时间较长。常用于道路、广场、车站、码头、企业厂房内外照明。

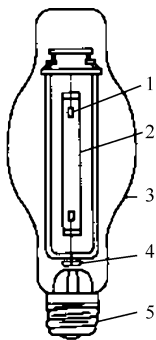


1—第一主电极；2—第二主电极；3—金属支架；4—内层石英玻壳（内充适量汞和氩）；  
5—外层石英玻壳（内涂荧光粉，内外玻壳同至氩）；6—辅助电极（触发极）；7—限流电阻；8—灯头

图 5-8 高压汞灯

#### 5) 高压钠灯

高压钠灯是利用高压钠蒸气放电发光的电光源，结构如图 5-9 所示。它的发光效率比高压汞灯高，寿命长，但显色性较差，启动时间较长。常用于商业区、公共聚集场所照明。



1—主电极；2—放电管；3—外玻壳；4—消气剂；5—灯头

图 5-9 高压钠灯

#### 6) 金属卤化物灯

金属卤化物灯是在高压汞灯的基础上为改善光色而发展起来的新型电光源，不仅光色好，而且光效高，但寿命低于高压汞灯。它适用于显色性要求较高的照明场所。彩色金属卤化物灯是新发展起来的广泛用于夜晚城市建筑物的投射照明，绚丽夺目。

### 3. 工厂常用灯具的选择与布置

灯具起规定光源和保护光源的作用，是光源与照明配件的总称。照明灯具应根据环境条

件、房间用途、光强分布等因素来选择。

### 1) 照明灯具的特性

(1) 配光曲线。电光源发出的光线是射向四周的，为了充分利用光能，给光源加装灯罩，使光线重新分配，其发光强度曲线就改变了，这种改变后的发光强度曲线称为灯具的配光曲线，它是在通过光源对称轴的一个平面上给出的灯具发光强度与对称轴之间角度为 $\alpha$ 的函数曲线。对一般照明灯具，配光曲线绘在极坐标上，如图 5-10 所示，其光源通常采用 1000lm 光通量的假想光源。而对于聚光很强的投光灯，由于其光强分布在一个很小的空间角内，因此，配光曲线一般绘在直角坐标上，如图 5-11 所示。

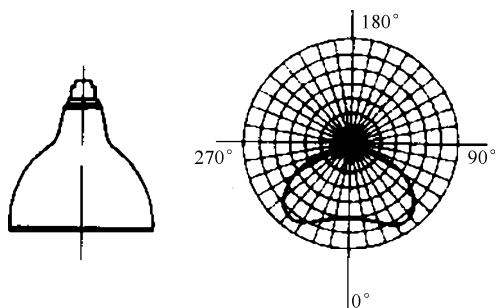


图 5-10 旋转对称灯具的配光曲线

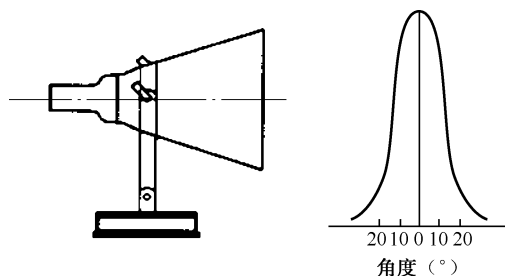


图 5-11 直角坐标配光曲线

如果是非旋转轴对称，如管形荧光灯、投光灯、探照灯等，一般用直角坐标配光曲线来表达分布特性会更清楚。

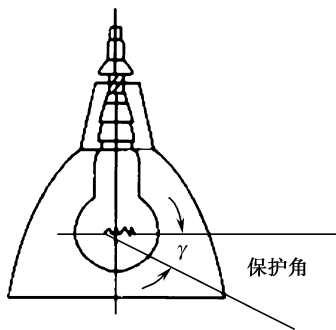


图 5-12 灯具的保护角（遮光角）

(2) 效率。光源加装了灯罩，重新分配光源发出的光通量，一部分光通量被灯罩吸收，引起光通量的减少，灯具的光通量与光源辐射的全部光通量比值称为灯具的效率，一般为 0.5~0.6。

(3) 保护角。保护角是指灯丝的水平线与灯丝最外点至灯罩对边边缘连线的夹角，如图 5-12 所示。灯具的保护角是保护人眼不受光源直射刺激的一个技术指标。各种灯具的悬挂高度不同，要求的保护角有所不同，一般为 10°~30°，室内一般悬挂最低高度，按 GB50034—1992 规定执行。

### 2) 灯具配光特性分类

按灯具配光特性分类，有两种分类方法：一种是国际照明委员会（CIE）提出的分类法；另一种传统的分类法。

CIE 分类法：根据灯具向上和向下投射光通量的百分比，将灯具分为以下五种类型：

(1) 直接照明型。灯具向下投射的光通量占总光通量的 90%~100%，而向上投射的光通量极少。该灯具光通量利用率很高，灯罩一般用发光性能好的不透明材料制成。

(2) 半直接照明型。灯具向下投射的光通量占总光通量的 60%~90%，向上投射的光通量只有 10%~40%，该灯具光通量利用率较高，灯具一般用半透明材料制成。

(3) 均有漫射型。灯具向下投射的光通量与向上投射的光通量差不多相等为 40%~60% 之间，这种灯具光通量利用率较低，但它向周围均匀散射光线，照明柔和。

(4) 半间接照明型。灯具向上投射的光通量占总光通量的 60%~90%，向下投射的光通量

只有 10%~40%，该灯具大部分光线照在顶棚或墙面上部，把它们变成了二次发光体。

(5) 间接照明型。灯具向上投射的光通量占总光通量的 90%~100%，而向下投射的光通量极少，该灯具大部分光线照在顶棚或墙面上部，形成房间照明，整个房间光线均匀柔和，无明显阴影。

传统分类法：根据灯具的配光曲线形状，将灯具分为以下五种类型：

- (1) 正弦分布型。光强随角度 $\alpha$ 按正弦规律变化，在 $\alpha=90^\circ$ 处光强最大。
- (2) 配照型。光强是光与物体表面法线夹角 $\alpha$ 的余弦函数，在 $\alpha=0^\circ$ 处光强最大。
- (3) 广照型。最大光强分布在较大角度上，可在较广的面积上形成均匀的照度。
- (4) 漫射型。各个角度的发光强度基本相同。
- (5) 深照型。最大光强在 $0^\circ \sim 40^\circ$ 的立体角内。

另外，按安装方式分类有悬吊式、嵌入式、吸顶式、壁式、落地式、台式等。但工厂常用的几种灯具的外形及其图形符号如图 5-13 所示。

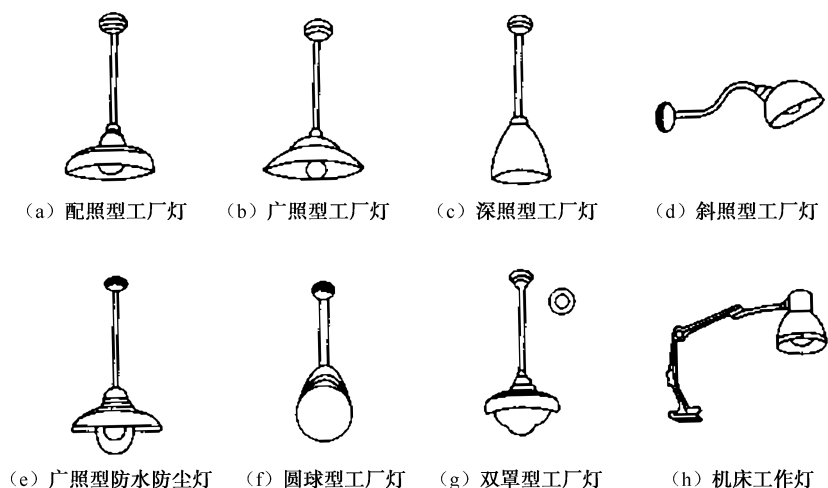


图 5-13 工厂常用的几种灯具

### 3) 灯具的选择

灯具的选择应以效率高、利用系数高，维护检修方便为原则。

根据使用环境条件应采用下列各种灯具：

- (1) 在正常温度下，一般选用开启式灯具。
- (2) 在潮湿的场所，应选用密闭的防潮灯具或带有防水灯头的开启式灯具。
- (3) 在灰尘多的场所，应选用防尘灯具。
- (4) 在有爆炸和火灾危险的场所，应按国家标准和规范分等级选择相应的灯具。
- (5) 在高温场所，应选用带散热孔的开启式灯具。
- (6) 在震动或晃动较大的场所，灯具应有保护网和采取减振措施。
- (7) 在可能受到机械损伤的场所，灯具应有保护网。
- (8) 在有腐蚀性气体和蒸气的场所，应采用耐腐蚀材料制成的密闭式灯具。

### 4) 灯具的布置方案

灯具的布置应满足被照射工作面上能得到均匀的照度，减少眩光和阴影的影响，尽量减

少投资。为了满足照度要求，维修方便，灯具的悬挂高度不能过高，但也不能过低。如过低，人容易碰着，不安全，会产生眩光，对人眼不利，室内一般灯具的最低悬挂高度不低于 2.5m，具体按规定选取。

室内灯具的布置，既要实用、经济，又要尽可能协调、美观。一般照明灯具，通常有两种布置方案，即均匀布置和选择性布置。

(1) 均匀布置。灯具在整个车间内均匀分布，其布置与设备无关。

(2) 选择性布置。灯具的布置与生产设备的位置有关，大多按工作面布置，使工作面照度最强。

由于均匀布置较之选择性布置更为美观，且整个车间照度较为均匀，所以，在既有一般照明又有局部照明的场所，其一般照明宜采用均匀布置。

均匀布置的灯具可排列成直线形、正方形、矩形，如图 5-14 所示。矩形布置时  $L_1$  与  $L_2$  相接近。为了使照度更为均匀，可将灯具排列成菱形。等边三角形菱形布置，即  $L_2 = \sqrt{3}L_1$  时，照度分布最为均匀。

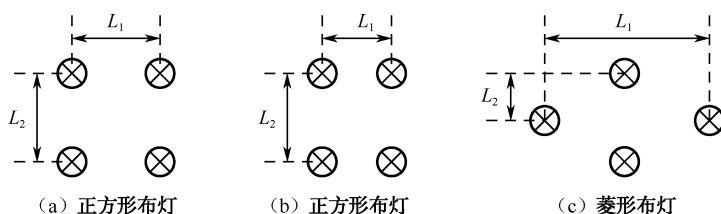


图 5-14 灯具的几种均匀布置

## 5.2.2 照明的供电系统及线路控制

### 1. 概述

工厂电气照明按用途分为工作照明和事故照明（应急照明）。工作照明是指在正常生产和工作情况下而设置的照明。工作照明根据装设的方式分为一般照明、局部照明和混合照明。在整个场所照度均匀的照明称为一般照明，满足在某个部位的照明称为局部照明，混合照明由一般照明和局部照明共同组成。事故照明（又称应急照明）正常照明的电源发生故障后而启用的照明。事故照明又分为备用照明、安全照明和疏散照明。备用照明是用于确保正常活动继续进行的应急照明。安全照明是用于确保潜在危险之中的人员安全的应急照明。疏散照明是用于确保安全出口通道能被有效地辨认和应用，使人员安全撤离的应急照明。

### 2. 照明电源及其控制

工厂的工作照明一般由动力变压器供电，有特殊需要时可考虑专用变压器供电。

事故照明一般与工作照明同时投入，以提高照明的利用率。但事故照明装置的电源必须保持独立性，最好与正常工作照明的供电干线接不同的变压器，如图 5-15 所示，仅供疏散用的事故照明可以由与工作照明分开的回路供电，如图 5-16 所示。

事故照明还可以采用其他的供电方式：独立于正常电源的发电机组；蓄电池组；供电网络中有效地独立于正常电源的馈电线路；应急照明灯自带直流逆变器；当有两台及以上变压器时，应与正常照明的供电干线自变电所的低压屏或低压母线分开等。

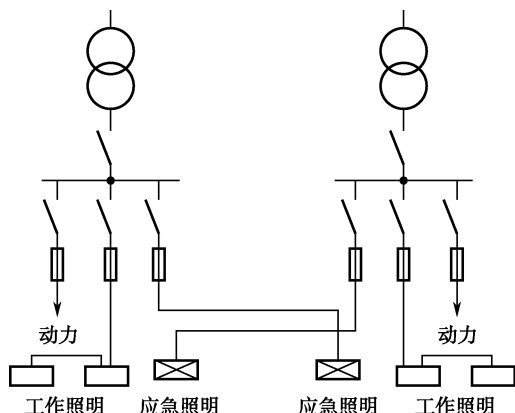


图 5-15 两台变压器交叉供电的照明供电系统

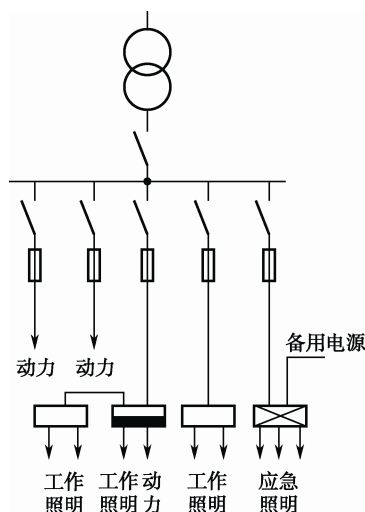


图 5-16 一台变压器供电的照明供电系统

### 5.2.3 工厂的节约用电

#### 1. 节约用电的意义

电力是我国现代化建设的重要资源，是国民经济的命脉，是工农业生产的重要物质基础。电力紧张是我国面临的一个严重问题，供需矛盾较为突出。要解决这个矛盾，就要开源截流。一方面，政府部门要将电力建设作为国民经济建设战略重点之一，千方百计地挖掘开发供电能力和加速电力工业的基本建设；另一方面，电力用户要实行计划用电和节约用电，使有限的电能发挥更大的作用。

从我国电能消耗的情况来看，70%以上消耗在工业部门，所以工厂节能是个重点。节约电能，不只是减少工厂的电费开支，降低工业产品的生产成本，可以为工厂积累更多的资金，更重要的是，由于电能能创造更多、更大的工业产值。因此，多节约一度电，就能为国家创造若干财富，有力促进国民经济的发展。所以，节约电能具有十分重要的意义。

#### 2. 节约用电的科学管理方法

(1) 加强电能管理，建立和健全合理的管理机构和制度，实行能耗定额管理，对工厂节约电具有很大的作用。

(2) 实行统筹兼顾、适当安排、确保重点、兼顾一般、择优供应的原则。做好电力供需平衡，对用电单位进行合理的电力分配。

(3) 实行计划供用电，提高电能的利用率。工厂用电应按与地方电业部门达成的供用电协议，实行计划用电，电业部门可以对工厂采取必要的限电措施。工厂内部对各个部门也要下达指标实行计划用电。可以装表计来考核。

(4) 实行“削峰填谷”的负荷调整。供电部门可以根据用户的不同用电规律，合理、有计划地安排各用户的用电时间，以降低负荷高峰，填补负荷低谷（即“削峰填谷”）。可采取各工厂错开双休日，工厂里各车间错开工作时间等措施，提高供电能力，节约用电。

(5) 加强电力设备的运行维护和管理。



### 3. 节约用电的一般措施

#### 1) 降低供电系统中的电能损耗

供电系统中损耗电能的主要设备元件是变压器和线路。为了减少变压器和线路中的电能损耗,必须正确选择变压器的型号、容量、数量。采取合理的运行方式,以及正确确定变配电所的位置,必须合理选择电压等级,正确选择导线截面。

例如,电力变压器型号的选择,采用冷轧钢片的新型低损耗 SL7 型变压器,其空载损耗比采用热轧钢片的老型号 SJL 变压器要低 1 倍左右。合理地选择变压器容量,使之接近经济运行状态。如果变压器的负荷率长期偏低,应更换小容量变压器。

对不合理的供电系统进行技术改造,合理地选择变配电所所址,使变配电所尽量靠近负荷中心,减少线路电能损耗。合理地布线、选择导线截面,有效地降低线路损耗。

提高线路运行电压是降低线路中的电能损耗的有效措施。如在相同截面下的导线,运行电压从 6kV 提高到 10kV,若输送相同容量的负荷,则电流可减小到原来电流的 1/3,从而使线路中的电能损耗降低到原来电能损耗的 1/3。

#### 2) 合理选择和使用用电设备

合理选择设备容量和使用设备,合理使用电动机和变压器,发挥设备潜力,提高设备的负荷率和使用效率,提高自然功率因数等均可以达到节能效果。如电动机、轻载运行时很不经济,可换小容量的电动机。

#### 3) 采用人工补偿装置,提高功率因数

提高功率因数,有利于节能。对发电厂来说,当用电设备消耗的有功功率一定时,功率因数越低,则发电厂供给的视在功率就越大,所需发电机的容量就越大,变压器及其配电装置和线路的容量也必须越大,因而发、输配电设施都不能充分利用,使发电设备的效率降低,提高了发电成本。对线路而言,当输送相同有功功率时,功率因数越低,则所需无功功率越大,从而线路中的电压损失也越大,会使用电设备的正常运行受到影响。功率因数过低,不仅影响用电设备的正常运行,而且还会影响整个电力系统的经济运行。因此,提高功率因数是十分重要的。

### 5.2.4 提高功率因数的方法

在工厂企业中主要的用电设备是异步电动机和变压器。供电系统除了供给这些用电设备有功功率外,还要供给这些用电设备无功功率,使工厂企业的功率因数降低。

#### 1. 提高自然功率因数

为了提高工厂企业功率因数,首先应当提高自然功率因数,其次采用人工补偿装置提高功率因数。提高工厂企业自然功率因数,是从根本上降低电气设备需要的无功功率,不需要新的投资,所以,首先应当采取的积极办法。

##### 1) 正确选择异步电动机的容量

工厂企业的运行经验表明,异步电动机的最高效率一般在负荷达到额定负荷时,功率因数最高,而空载时功率因数最低。因此,异步电动机的额定功率应当尽量接近于所拖动的机械负荷。将运行中的轻负荷电动机予以更换,选用合适的电动机代替,选择合适的电机容量,使其平均负荷率接近最佳值。

### 2) 将轻负荷电动机改变接线

在实际运行中,当异步电动机在轻负荷运行时,可以调换较小容量的电动机,但当由于各种原因而无法用小容量异步电动机调换时,可采用降低异步电动机电压的方法来减少其取用的无功功率。降低异步电动机电压的方法一般采用改变电动机的内部接线,使异步电动机各绕组所承受的电压降低,从而减少异步电动机所取用的无功功率。

将异步电动机绕组三角形接法改接为星形接法,按此接法后,绕组工作电压降低到原来电压的  $1/3$ ,因而功率和转矩都减少到原来的  $1/3$ 。因此,电动机的铁损相应减少。

异步电动机绕组的分组改接,当既不能调换较小容量的电动机,又不能将异步电动机绕组三角形接法改接为星形接法时,可以采用异步电动机绕组的分组改接方法,以降低异步电动机各段线圈上的工作电压。例如,可以将异步电动机绕组原为双路并联接法改为单路串联接法,使每段线圈上的工作电压降低  $1/2$ ,使铁损降低。

### 3) 限制异步电动机的空载

工厂企业异步电动机在工作中都可能有较长的空载运行时间。异步电动机空载运行电流较大,而且功率因数很低,因此,若能够将空载运行的异步电动机从供电线路上切除,就可以减小无功功率,提高功率因数。

### 4) 提高异步电动机的检修质量

在工厂企业中,异步电动机检修质量的好坏,对其效率和功率因数有很大的影响,因此,检修时一定要保证质量,防止空气间隙增加,以免增大励磁电流,降低功率因数和效率。防止重绕电动机线圈时匝数减少,否则,其他条件不变也会使磁通量增加,从而使电动机需要的无功功率和控制电流增加,功率因数下降。

### 5) 变压器的合理使用

更换负荷的变压器,提高功率因数。工业企业在低负荷时间内,尽量将负荷集中,由一台或数台变压器供电,使每台变压器在最佳负荷率下运行,停运多余的变压器,以便减少无功功率和降低有功功率损耗。

当工厂企业中有多台车间变压器时,可以用低压联络线将变压器二次侧连接起来,以便在轻负荷时将部分轻载变压器切除,减少有功损耗和无功损耗,提高功率因数。

当工厂企业中变电所有多台变压器并联运行时,可以考虑变压器的经济运行,根据负荷的大小,决定投入运行的变压器台数。负荷较大时,投入运行的变压器台数多一些,负荷较小时,投入运行的变压器台数少一些,以使变压器的损耗最少。当然,在不影响供电可靠性的前提下,才能考虑变压器的经济运行。

## 2. 采用人工补偿装置提高功率因数

采用降低各用电设备所需无功功率可以有效地提高工厂企业的自然功率因数,但还不能完全达到要求值所以需要采用人工补偿装置,主要有同步补偿机和移相电容器。同步补偿机是一种专门用来改善功率因数的同步电动机,通过调节其励磁电流,可以起到补偿无功功率的作用。移相电容器是一种专门用来改善功率因数的电力电容器。由于移相电容器是一种静电电容器,消耗容性无功功率,当它与电网并联时,可以减少电网供给的无功功率,提高功率因数。移相电容器与同步补偿机相比,由于无旋转部分,且具有安装简单,运行维护方便及有功损耗小等优点,所以,移相电容器在工厂供电系统中得到广泛应用。下面重点进行介绍。

### 1) 移相电容器并联补偿的工作原理及补偿容量的计算

工作原理：在交流电路中，纯电阻负荷的电流与电压相同；纯电感负荷中的大电流滞后于电压  $90^\circ$ ；而纯电容负荷的电流超前于电压  $90^\circ$ ；可见，电容器中的电流与电感中的电流相差  $180^\circ$ ，它们能够互相抵消。

电力系统的负荷大部分是电感性和电阻性的，因此，总电流将滞后于电压一个角度（功率因数角），如果将移相电容器与负荷并联，则移相电容器的电流将抵消一部分电感电流，这样使电感电流减少，总电流也减少，功率因数将得到提高。补偿容量的计算将在任务 6 中介绍，在此处可以忽略。

### 2) 移相电容器的接线

并联补偿电力电容器大多采用  $\Delta$  形接线。而低压并联电容器多数是做成三相的，内部已接成  $\Delta$  形。

接成  $\Delta$  形的优点：三个电容为  $C$  的电容器接成  $\Delta$  形的容量是接成  $Y$  形容量的 3 倍。电容器采用  $\Delta$  形接线时，任一电容器断线，三相线路仍可得到无功补偿，而采用  $Y$  形接线时，一相电容器断线时，断线相则将失去无功补偿。

缺点：电容器采用  $\Delta$  形接线时，任一电容器击穿短路时，将造成三相线路的两相短路短路电流非常大，有可能引起电容器爆炸，这对高压电容器特别危险。如果采用  $Y$  形接线，情况就不一样，短路电流就小多了，仅为造成工作电流的 3 倍，运行安全多了。因此，高压电容器组宜接成中性点不接地  $Y$  形，容量较小时（450kvar 及以下）宜接成  $\Delta$  形。低压电容器组一般都接成  $\Delta$  形。电容器组一般装在成套的电容器柜内。

电容器从电网切除时，由于极板上仍然存有电荷，所以电容器两端有用电的残余电压，最高可达的电网电压的峰值，这对人是非常危险的。由于电容器极间绝缘电阻很高，自行放电的速度很慢，为了尽快消除电容器极板上的电荷，所以，并联电容器组必须装设与之并联的放电设备。

500V 及以下电容器组与其放电设备的连接方式，可以采用直接也可采用电容器与电源断开后自动或手动投入放电设备的方式。低压电容器组用的放电设备一般采用白炽灯，如图 5-17 所示。

1000V 及以上电容器组与其放电设备的连接应采用直接固接方式。高压电容器组放电是利用电压互感器的一次绕组来放电，在电压互感器的二次绕组接白炽灯，如图 5-18 所示。

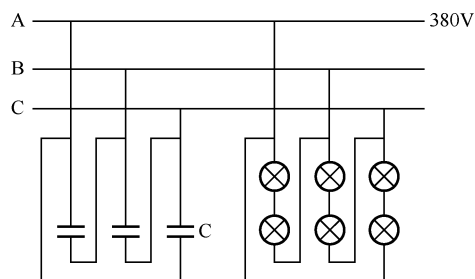


图 5-17 低压电容器组的接线

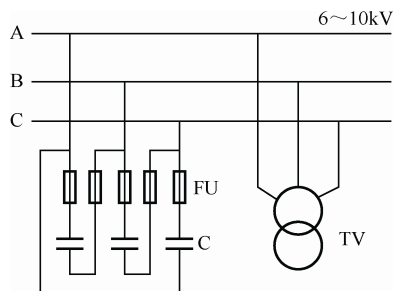


图 5-18 高压电容器组的接线

为了确保可靠放电，电容器组的放电回路中不得装设熔断器或开关，以免危及人身安全。

### 3) 移相电容器的装设地点

工厂企业内部移相电容器的补偿方式分高压侧和低压侧补偿，如图 5-19 所示。

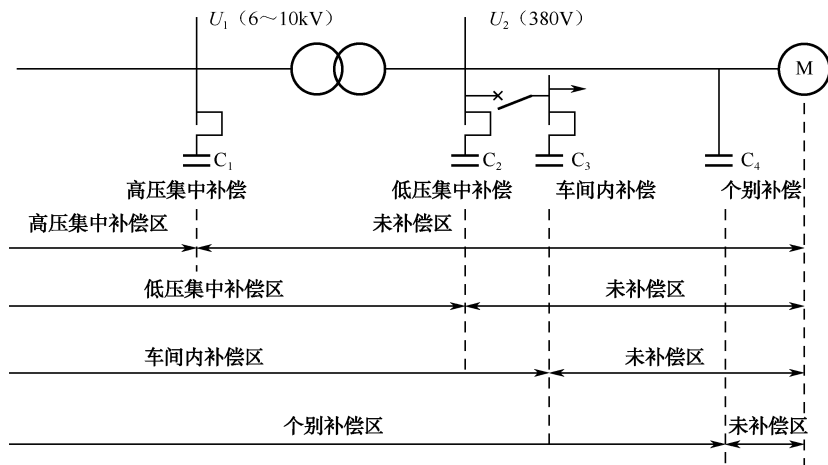


图 5-19 移相电容安装地点及补偿区域

(1) 高压侧补偿：高压侧补偿多采用集中补偿，将移相电容器组接在变电所的 6~10kV 母线上，一般根据电容器组容量的大小选配开关，对集中补偿的高压电容器利用高压断路器进行手动投切。电容器组的安装方式可根据台数多少，设置在高压配电室或专用电容器室。

高压集中补偿的特点：电容器的利用率高，能减少供电系统及线路中输送的无功负荷，这种补偿方式的初投资较少，便于集中运行维护。但不能减少用户变压器和低压配电网络中的无功负荷。这种补偿可以满足工厂总功率因数的要求，所以，在大中型工厂中广泛应用。

#### (2) 低压侧补偿：

① 变电所低压母线上的集中补偿。低压集中补偿是将低压电容器集中装设在车间变电所的母线上。这种补偿方式能补偿变电所低压母线前的变压器、高压线路及电力系统的无功功率，有较大的补偿区。这种补偿能减少变压器的无功功率，因而可使变压器容量选得较小，比较经济，运行维护方便，这种补偿方式在工厂中广泛应用。

对集中补偿的低压电容器组，可按补偿容量分组投切。可利用接触器较小分组投切或利用低压断路器进行分组投切。电容器组的安装方式一般设置在高低压配电室或低压配电室内。

② 电气设备的个别补偿。个别补偿是按照某一用电设备的需要来装设电容器，电容器直接接在用电设备的附近。通常，电容器与用电设备共用一组开关，与电气设备同时投入或退出运行，如图 5-20 所示，这种电容器组通常利用用电设备本身的绕组电阻来放电。

对个别补偿的电容器组，利用控制用电设备的断路器或接触器进行手动投切。

个别补偿的特点：使无功功率能做到就地补偿，从而减少企业内部的配电线路、变压器、

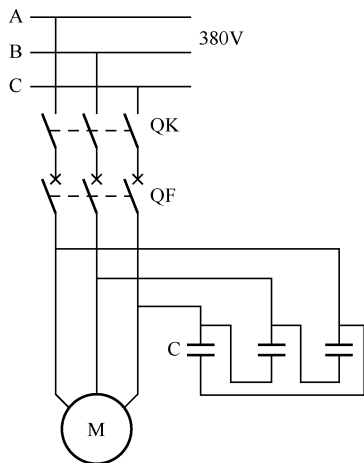


图 5-20 电动机旁个别补偿接线

高压线路中的无功功率。补偿范围最大,补偿效果最好。但这种补偿投资大,且电容器只有在电气设备运行时才能投入,因此,其利用率低,而且电容器安装在用电设备附近,往往受到剧烈的震动。个别补偿适合于负荷平稳、经常运转的大容量电动机,也适于容量小但数量多且是长期稳定运行的设备。对于高低压侧的无功功率补偿,仍宜采用高压集中补偿和低压集中补偿。

③ 车间内补偿。车间内补偿的电容器组接于车间配电盘的母线上,所以,利用率比个别补偿大,同时能减少低压配电线路及变压器中的无功功率。

在工厂供电系统中,多是综合采用于上几种补偿方式,以求达到总的无功补偿要求,使工厂的电源进线处的功率因数不低于规定值。

#### 4) 移相电容器的保护

移相电容器的主要故障是电路故障,一般为电容器组与断路器之间的连线上发生短路和电容器内部发生短路,可造成相间短路。对于低压移相电容器和容量较小的(450kvar及以下)高压移相电容器可装设熔断器作为相间短路保护,对于容量较大的高压移相电容器,则需要高压断路器控制,装设过电流保护作为相间短路保护。

对于接成 $\Delta$ 形接线的高压电容器组,为防止电容器击穿时引起相间短路,所以, $\Delta$ 形接线的各边均接有高压熔断器保护。

当6~10kV电容器组装在有可能出现过电压的场所时,需装设过电压保护。

当电容器组所接电网的单相接地电流大于10A时,应装设单独的单相接地保护装置。电容器组的单相接地保护与6~10kV线路接地保护相似。当接地电流小于10A,以及电容器与支架绝缘时,可以不装设接地保护。

#### 5) 移相电容器的运行与维护

电容器组的操作。为了保证电容器组的安全运行,电容器组的操作应遵守以下各项:

(1) 正常情况下全站停电操作时,应先拉开电容器开关,后拉开各路出线开关。恢复送电时,应先合上各路出线开关,后合上电容器组开关。事故情况下,全站无电后必须将电容器开关拉开。

这是因为变电所母线无负荷时,母线电压可能较高,有可能超过电容器的允许电压,对电容器的绝缘不利。另外,电容器组可能与空载变压器产生共振而使过电流保护动作。因此,应尽量避免无负荷空投电容器。

(2) 电容器组开关跳闸后不应抢送。保护熔丝熔断后,在未查明原因之前不准更换熔丝送电。

(3) 电容器组禁止带负荷合闸,电容器组切除3分钟后才能进行再次合闸。

运行中,电容器组的巡视和检查。日常的巡视一般由变配电所的运行值班员进行。夏季的巡视在室温最高时进行,其他巡视可在系统电压最高时进行。巡视时,要注意观察电容器的外壳有无膨胀;有无漏油、喷油等现象;有无异常的声响及火花;示温蜡片的熔化情况等。值班人员应检视其电压、电流和室温等,有无放电响声和放电痕迹,接头有无发热现象,放电回路是否完好,指示灯是否正常。

电容器组要定期停电检查。检查内容:检查各部螺丝接点的松紧和接触情况,检查放电回路的完整性,检查风道的灰尘并清扫电容器外壳、绝缘子及支架等处的灰尘,检查电容器的开关、馈线,检查电容器外壳的保护接地线,检查保护装置。

移相电容器在工厂供电系统正常移相时是否投入,视系统的功率因数和电压而定,如功

率因数或电压过低,应投入。移相电容器是否切除,也视功率因数和电压而定,如电压偏高,应立即切除电容器。

当发生下列情况时,应立即切除电容器:

(1) 电容器爆炸。当电容器内部发生极间或极对外壳击穿时,与之并联运行的电容器组将对它放电,此时,由于能量极大可能造成电容器爆炸。

(2) 接头严重过热。

(3) 套管闪络放电。

(4) 电容器喷油或燃烧。

(5) 环境温度超过 40℃。

如果变配电所停电,电容器也应切除,以免突然来电时母线电压过高,击穿电容器。

在切除电容器时,须从外观(如指示灯)检查其放电回路是否完好。电容器从电网切除后,应立即通过放电回路放电。高压电容器放电时间不短于 5min,低压电容器的放电时间不短于 1 分钟。但对于故障电容器本身还应特别注意,其两极间还可能有余电荷。这是因为故障电容器可能是内部断线或熔丝熔断,也可能是引线接触不良,这样在自动放电或人工放电时,它的残余电荷是会被放掉的。所以,为确保人身安全,运行检修人员在接触故障电容器前,应戴上绝缘手套,用短接导线将所有电容器两端直接短接放电。

## 实操训练 16 照明线路的安装与维修实训

### 1. 实训目的

- (1) 学会常用照明灯具及照明线路的安装。
- (2) 掌握照明电路的故障检查和维修方法。

### 2. 工具和仪器

- (1) 常用电工工具一套。
- (2) 锤子、手电钻。
- (3) 万用表一块(MF-47)。

### 3. 实训材料

- (1) 实训所用的主要材料。

- ① 白炽灯的安装。白炽灯泡、灯头、吊线盒,圆木、双联开关两只。
- ② 日光灯的安装。日光灯管、灯脚、镇流器、启辉器、启辉器座、灯架、开关、吊线盒。
- ③ 电源插座的安装。三孔插座、两孔插座、瓷保险盒、木台各两个。
- ④ 配电板的安装。单相电度表、安装板、闸刀开关、瓷保险盒各两个。
- (2) 其他辅助材料:护套线、软电线、木螺丝、绝缘胶布等。

### 4. 实训内容与步骤

照明灯具安装的一般要求:各种灯具、开关、插座及所有附件,都必须安装牢固可靠,应符合规定的要求。壁灯及吸顶灯要牢固地敷设在建筑物的平面上;吊灯必须装有吊线盒,每只吊线盒一般只允许装一盏电灯(双管日光灯和特殊吊灯除外),日光灯和较大的吊灯必须采用金属链条或其他方法支持。灯具与附近的连接必须可靠。

- (1) 白炽灯的安装。

- ① 安装圆木。先在准备安装吊线盒的地方打孔,预埋木塞或膨胀螺丝。在圆木底面用电

工刀刻两条槽，在圆木中间钻三个小孔，然后将两根电源线端头分别嵌入圆木两条槽内，并从两边小孔穿出。最后用木螺丝从中间小孔中将圆木紧固在木塞上。

② 安装吊线盒。先将圆木上的电线从吊线盒底座孔中穿出，用木螺丝将吊线盒紧固在圆木上；将穿出的电线剥头，分别接在吊线盒的接线柱上；根据灯的安装高度取一段软电线，作为吊线盒和灯头的连接线，将上端接在吊线盒的接线柱上，下端准备接灯头；在离电线上端约 5cm 处打一个结，使结卡在接线孔里，以便承受灯具质量。

③ 安装灯头。旋下灯头盖，将软线下端穿入灯头盖孔中；在离线头约 3mm 处打一个结，把两个线头分别接在灯头的接线柱上，然后旋上灯头盖。若是螺口灯头，相线应接在与中心铜片相连的接线柱上，否则，容易发生触电事故。

④ 安装开关。控制白炽灯的开关应串接在相线上，即相线通过开关再进入灯头。一般拉线开关的高度离地面 2.5m，扳把开关或暗装开关离地 1.4m。安装扳把开关时方向要一致，一般向上为“合”，向下为“断”。

安装拉线开关或扳把开关的步骤和方法与安装吊线盒大体相同，先安装圆木，再把开关安装在圆木上。

⑤ 安装一只白炽灯，悬吊式安装，由两个双联开关从两个地方控制。并排除线路故障，使之正常工作。

(2) 日光灯的安装。组装一套日光灯，采用悬吊式安装，由一个单联开关控制，并排除日光灯的故障，使之正常工作，并画出安装接线图。

(3) 电源插座的安装。在一块木台上安装一个三孔插座和一个两孔插座，并串接一个瓷保险盒。安装两套，分别按正常高度和低装高度安装在实习墙上，并画出安装接线图。

(4) 照明配电板的安装。组装一套单相照明配电板，并将其周期安装在实习墙上，其中，单相电度表和闸刀开关的安装应符合要求。并画出安装接线图。

(5) 照明线路总装。将上述各部分在实习室内连成整体线路，使其全部正常工作。室内布线采用护套线，用铝线卡固定。最后画出整个照明线路的电路图。

## 5.2.5 问题与思考

### 一、填空题

1. 供电系统中损耗电能的主要设备元件是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 节约用电的一般措施主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 提高工厂的功率因数可采用人工补偿装置，主要有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 高压电容器组宜接成\_\_\_\_\_形，低压电容器组宜接成\_\_\_\_\_形。
5. 并联电容器组必须装设与之并联的\_\_\_\_\_。
6. 高压电容器放电时间不低于\_\_\_\_\_，低压电容器放电时间不低于\_\_\_\_\_。
7. 工厂的电气照明分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
8. 光源的颜色用色温和显色指数两个指标来衡量，色温越高感觉越\_\_\_\_\_，色温越低感觉越\_\_\_\_\_。显色指数越高，说明该光源的显色性能\_\_\_\_\_，物体在该光源的照射下的失真度\_\_\_\_\_。
9. 电光源按其发光原理分为两种：一种是\_\_\_\_\_，如\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等；另一种是\_\_\_\_\_，如\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。

10. 白炽灯结构简单, 价格低廉, 使用方便, 显色性\_\_\_\_\_, 发光率\_\_\_\_\_, 使用寿命\_\_\_\_\_, 耐震性能\_\_\_\_\_。

11. 室内一般灯具的最低悬挂高度不应低于\_\_\_\_\_。

12. 工厂照明按用途分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

二、判断题 (正确的打√, 错误的打×)

13. 并联补偿的电力电容器大多采用接成 Y 形接线。 ( )

14. 低压电容器组的放电设备一般采用白炽灯。 ( )

15. 电容器组的放电回路中不得装设熔断器或开关。 ( )

16. 使用高压电容器组集中补偿的方式能够减少用户变压器和低压配电网的无功功率。 ( )

17. 个别补偿使无功功率做到就地补偿, 从而减少无功功率。 ( )

18. 电容器组可以带电合闸。 ( )

19. 光源的显色性能越好, 物体在该光源照射下的失真度越小。 ( )

20. 工厂车间内经常使用荧光灯作为照明光源。 ( )

21. 高压汞灯的使用寿命一般比高压钠灯长。 ( )

22. 在可能受到机械损失的场所, 灯具应具有保护网。 ( )

三、技能题

23. 变电所停电时如何操作电容器组? 恢复送电时如何操作电容器组?



## 项目 6 供配电系统的方案设计

### 【教学目标】

(1) 设计应根据设计任务书, 以及国家的有关政策和各专业的设计技术规程、规定进行。运用已学知识解决工程实际问题的一般方法。

(2) 能够读懂电气主接线图, 且能根据原始资料对变电站和中小型企业配电室进行主接线设计。

(3) 能根据原始资料初步拟出 2~3 个技术合理的电气主接线方案, 并进行技术经济比较, 确定出一个最优方案, 并绘出该方案的草图。

### 【项目描述】

本项目主要研究中小型工厂变配电所电气主接线方案设计, 工厂电力负荷的运行情况和短路计算方法。确定用电设备组计算负荷的两种常用方法——需要系数法和二项式系数法。讲述工厂计算负荷的确定方法及采用无功补偿的措施。简要介绍照明负荷的分析计算。对工厂供电系统中的短路现象和短路效应进行系统分析, 并介绍短路电流计算的一般方法。

### 任务 1 电气主接线方案设计

#### 【任务描述】

电气主接线方案设计是《工厂供配电技术与维护》课程中的一次综合性的实践环节, 通过对工厂变配电所电气主接线的设计, 巩固和加深对供电系统的认识和理解, 培养学生独立分析问题与解决问题的能力 and 理论联系实际的能力, 初步学会工程设计的方法。

#### 【知识链接】

#### 6.1.1 工厂供配电系统设计的基本知识

##### 1. 企业供配电系统设计的基本原则

根据国家标准《供配电系统设计规范》(GB50052—1995)、《10kV 及以下变电所设计规范》(GB50053—1994)、《低压配电设计规范》(GB50054—1995) 等规定, 工厂供配电系统设计的基本原则如下。

(1) 严格遵循规范、规程。为使工厂供配电系统设计贯彻执行国家的技术经济政策, 做到保障人身安全, 供电可靠, 技术先进和经济合理, 设计中必须严格遵循国家颁布的各相关规范, 标准和有关行业规程。

(2) 工厂供配电系统设计必须从全局出发, 统筹兼顾, 按照负荷性质、用电容量、工程特点和地区供电条件, 合理确定设计方案, 以满足供电要求。

(3) 工厂供配电系统设计应根据工程特点、规模和发展规划,正确处理近期建设和远期发展的关系,做到以近期为主、远近期相结合,适当考虑扩建的可能。

(4) 工厂供配电系统设计应选用国家推荐的效率高、能耗低、性能先进的新型产品,以节约能源。

## 2. 工厂供配电系统设计基本内容

工厂供配电系统设计的基本内容包括两个方面。

### 1) 工厂变配电所的设计

根据工厂的类型不同,有总降压变电所、总配电所、车间变电所之分。总降压变电所与车间变电所的设计内容基本相同,高压配电所除没有主变压器的选择外,其余设计与变电所基本相同。变电所的设计内容应包括变配电所负荷的计算和无功功率补偿,变配电所址的选择,变电所主变压器台数和容量、型式的确定,变配电所主接线方案的选择,进出线的选择,短路电流计算及开关设备的选择,二次回路方案的确定及继电保护的选择与整定,防雷保护与接地装置的设计,变配电所的照明设计等。最后应编制设计说明书、设备材料清单及工程概算,绘制变配电所主接线图、平面图、剖面图、二次回路图及施工图。

### 2) 供配电线路的设计

工厂供配电线路设计分工厂范围供配电线路设计和车间供配电线路设计。

工厂范围供配电线路设计包括高压供配电线路设计及车间外部低压配电线路设计。设计内容:供配电线路电压等级的确定、线路路径及线路结构型式的确定、负荷的计算、导线或电缆型号和截面的确定、配电设备的选择、架空线路杆位的确定、电杆与绝缘子及其他线路配件的选择、电缆线的敷设方式、线路走向、施工方式及其配件的选择、防雷及接地装置设计计算等。最后应编制设计说明书、设备材料清单及工程概算,绘制车间供配电线路系统图、平面图及施工图纸。

车间供配电线路的设计通常包括车间供配电线路布线方案的确定、负荷的计算、线路导线及配电设备和保护设备的选择、线路敷设设计等。最后也应编制设计说明书、设备材料清单及工程预算绘制工厂配电线路系统图、平面图及施工图纸。

## 3. 工厂电气照明的设计

工厂供配电系统设计有室外照明设计、各车间照明设计、工厂内各建筑物的照明设计、变配电所内的照明设计等。以上各部分的照明设计基本上都包括如下几个内容:

- (1) 照明灯具型式的选择与布置。
- (2) 照明光源的选择和照度的计算。
- (3) 照明线路的接线方式的确定、照明线路的负荷计算、导线及敷设方式的设计。
- (4) 照明配电箱及保护与控制设备的选择等。

最后还要编制设计说明书、设备材料清单及工程预算、绘制照明系统图、平面图及施工图纸。

## 4. 工厂供配电系统设计的程序和要求

工厂供配电系统的设计通常分为扩大初步设计和施工图设计两个阶段。对于设计规模较小、任务紧迫,经技术论证许可时,也可直接进行施工图设计。

### 1) 扩大初步设计

扩大初步设计的任务主要是根据设计任务书的要求,进行负荷的统计计算,确定选择工

厂的用电容量,选择工厂供配电系统的原则性方案及主要设备,提出主要设备材料清单,编制工程预算,报上级主管部门审批。因此,扩大初步设计资料应包括工厂供配电系统的总体布线图、主接线图、平面布置图等图纸及设计说明书和工程概算等。

## 2) 施工设计

施工设计是在扩大初步设计经上级主管部门批准后,为满足安装施工要求而进行的技术设计,重点是绘制施工图,因此,又称施工图设计。施工设计需对初步设计的原则性方案进行全面的技术经济分析和必要的计算与修订,以使设计方案更加完善和精确,有助于安装施工图的绘制。安装施工图是进行安装施工所必需的全套图纸资料。安装施工图应尽可能用国家颁布的标准图样。

施工设计资料应包括施工说明书、各项工程的平面和剖面图,以及各种设备的安装图,各种非标准件的安装图,设备与材料明细表及工程预算等。

施工设计是将付诸安装施工的最后决定性设计,因此,设计时更有必要深入现场调查研究,核实资料,精心设计,以确保工厂供配电工程的质量。

## 5. 工厂供配电系统设计的基础资料

设计之前应向当地供电部门收集下列资料:

- (1) 对工厂的可供电源容量和备用电源容量。
- (2) 供电电源的电压等级,供电方式是架空线还是电缆,专用线还是共用线,供电电源的回路数,导线或电缆的型号规格、长度,以及进入工厂的方位。
- (3) 对工厂供电的电力系统在最大和最小运行方式下,短路数据或供电电源线路首端的断路器断流容量。
- (4) 供电电源首端的继电保护方式及动作电流和动作时限的整定值,向工厂供电的电力系统对工厂进线端继电保护方式及动作时限配合的要求。
- (5) 供电部门对工厂电能计量方式的要求及电费计收办法。
- (6) 对工厂功率因数的要求。
- (7) 电源线路工厂外部设计和施工的工厂应负担的投资费用等。

向当地气象、地质及建筑安装等部门收集下列资料:

- (1) 当地气温数据,如年最高温度、年平均温度、最热月平均最高温度,以及当地最热月地面下 0.8~1.0m 处的土壤平均温度等,以供选择电器和导体之用。
- (2) 当地的年平均雷暴日数,供防雷设计用。
- (3) 当地土壤性质或土壤电阻率,供设计接地装置用。
- (4) 当地常年主导风向,地下水位及最高洪水位等,供选择变、配电所所址用。
- (5) 当地曾经出现过或可能出现的最高烈度,供考虑防震措施用。
- (6) 当地海拔高度、最高温度与最低温度,供选择电气设备参考。
- (7) 当地电气设备生产供应情况,以便就地采购或订货。
- (8) 当地水文地质资料和地形勘探资料。
- (9) 当地环境污染情况,供选择绝缘参考。

必须注意的是,在向当地供电部门收集有关资料的同时,也应向当地供电部门提供用电的资料,如工厂的生产规模、负荷的性质,需电容量及供电的要求等,并与供电部门妥善达成供用电协议。

## 6.1.2 主接线方案的经济比较计算

### 1. 计算综合投资 $Z$

$$Z = Z_0 (1 + \alpha / 100) \quad (6-1)$$

式中  $Z_0$ ——主体设备费用，包括变压器、开关设备、配电装置设备的费用；

$\alpha$ ——不明显的附加费用比例系数，包括设备运输、安装、架构、基础及辅助设备的费用，一般 35kV 取 100；110kV 取 90；220kV 取 70。

### 2. 计算年运行费用 $U = U_Z + U_{\Delta A}$

(1) 年折旧维护检修费  $U_Z = CZ$ 。

(2) 年电能损耗费  $U_{\Delta A} = \alpha \Delta A$ 。

① 双绕组主变的  $\Delta A$  计算，即

$$\Delta A = n[\Delta p_0 t + \Delta p_k (S_m / S_n)^2 \tau] \quad (6-2)$$

② 三绕组主变的  $\Delta A$  计算，即

$$\Delta A = n[\Delta p_0 t + \Delta p_{k1} (S_{m1} / S_{n1})^2 \tau_1 + \Delta p_{k2} (S_{m2} / S_{n2})^2 \tau_2 + \Delta p_{k3} (S_{m3} / S_{n3})^2 \tau_3] \quad (6-3)$$

式中  $S_{n1}$ 、 $S_{n2}$ 、 $S_{n3}$ 、——三绕组变压器高、中、低三侧绕组的额定容量， $\text{kV} \cdot \text{A}$ ；

$S_{m1}$ 、 $S_{m2}$ 、 $S_{m3}$ 、——高、中、低压侧最大持续负荷， $\text{kV} \cdot \text{A}$ ；

$\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ ——高、中、低压侧最大负荷年损耗小时数；

$\Delta p_{k1}$ 、 $\Delta p_{k2}$ 、 $\Delta p_{k3}$ 、——高、中、低压侧绕组中的额定铜损耗。

$$\Delta p_{k1} = \frac{\Delta p_{k1-2} + \Delta p_{k1-3} - \Delta p_{k2-3}}{2} \quad (6-4)$$

$$\Delta p_{k2} = \frac{\Delta p_{k1-2} + \Delta p_{k2-3} - \Delta p_{k1-3}}{2} \quad (6-5)$$

$$\Delta p_{k3} = \frac{\Delta p_{k1-3} + \Delta p_{k2-3} - \Delta p_{k1-2}}{2} \quad (6-6)$$

③ 架空线路： $\Delta A = \Delta P_m \tau$ 。

### 3. 经济最优方案的确定

当待选方案只有两个，并已知方案一的综合总投资为  $Z_1$ ，年运行费用为  $U_1$ ；方案二的综合总投资为  $Z_2$ ，年运行费用为  $U_2$ ，选择如下：

(1)  $Z_1 > Z_2$        $U_1 > U_2$       选择方案二

(2)  $Z_1 < Z_2$        $U_1 < U_2$       用动态比较法或静态比较法

① 静态比较法：抵偿年限法，即  $T = \frac{Z_1 - Z_2}{U_2 - U_1}$ 。

若  $T < 5 \sim 8$  年，则选择方案一；

若  $T > 5 \sim 8$  年，则选择方案二。

② 计算费用最小方法：如果备选的方案多于两种时，为了便于比较，也常采用计算费用最小的方法。第  $i$  种方案的计算费用可用下式计算，即

$$C_i = \frac{Z_i}{T} + U_i \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (6-7)$$

可取  $T=5 \sim 8$  年，然后分别计算各方案的计算费用  $C$ ，其中， $C$  最小的方案为最经济方案。



## 实操训练 17 工厂配电系统的设计任务书

设计任务书包括基础资料和设计任务、设计安排等部分。

### 1. 原始基础资料

#### 1) 建设性质及规模

为满足某工厂生产用电需要,计划在工厂范围内新建一座 35kV 降压变电所,电压等级为 35/0.4kV。35kV 线路有两回,其中一回来自变电所,另一回来自邻近企业;0.4kV 将设计为多回路,分别送往工厂内车间及其附近生活区。降压变电所占地东西长为 300m,南北宽为 200m。

#### 2) 供电电源的情况

按照工厂与当地供电部门签订的供电协议规定,该工厂可由 3km 处的电力系统变电所 35kV 母线上取得工作电源,该电源线路将采用 LGJ-35 架空导线送至工厂变电所。已知该线路定时限过电流保护整定的动作时限为 1.5s,线路首端最大运行方式下三相电路容量为  $195.5\text{MV} \cdot \text{A}$ ,最小运行方式下三相电路容量为  $150\text{MV} \cdot \text{A}$ 。为满足新建变电所二级负荷的要求,可通过邻近企业变电所向本厂新建变电所的联络线路临时供电,将来也可作为新建变电所低压侧备用电源。同时可采用低压联络线由邻近企业取得备用电源,作为新建变电所及生活用电。

#### 3) 工厂负荷情况

工厂多数车间为两班制。变压器全年投入运行时间为 8000h,最大负荷利用小时  $T_{\max}$  为 4000h。新建工厂变电所的负荷统计资料见表 6-1。

表 6-1 新建变电所负荷统计资料表

负 荷 性 质	负 荷 名 称	设备容量/kV · A	功 率 因 数	需 要 系 数	负 荷 类 别
全厂动力	铸造车间	500	0.70	0.4	Ⅱ
	锻压车间	450	0.65	0.3	Ⅲ
	金工车间	400	0.65	0.3	Ⅲ
	工具车间	300	0.65	0.2	Ⅲ
	电镀车间	400	0.75	0.6	Ⅱ
	热处理车间	300	1.0	0.5	Ⅲ
	装配车间	200	0.70	0.4	Ⅲ
	机修车间	150	0.60	0.3	Ⅲ
	锅炉房	80	0.70	0.6	Ⅱ
	仓库	20	0.60	0.3	Ⅲ
全厂照明	照明	80	0.90	0.85	Ⅲ
生活照明	宿舍区	300	0.90	0.8	Ⅲ

#### 4) 新建变电所选址条件

新建变电所位于工厂区内,该区海拔为 200m,地层以黏土为主,地下水位为 3m,最高气温为 39℃,最低气温为-10℃,最热月地下 0.8m 处平均温度为 20℃,年主导风向为南风,年雷暴雨日为 40。

### 5) 电价制度

工厂与当地供电部门达成协议, 35kV 输电架空线路由供电部门负责设计、施工。新建变电所按主变压器容量向供电部门一次性交纳供电补贴费, 标准为  $x$  元/kV·A。电费核算按两部制电价制度, 基本电价标准为  $y$  元/kW·h; 为鼓励提高功率因数, 供电部门规定, 当功率因数低于规定值 0.9 时, 将予以罚款; 相反, 功率因数高于规定值 0.9 时, 将得到奖励, 即采用“高奖低罚”的原则。因此, 供电部门还将根据该变电所月加权平均功率因数对实收电费进行调整, 见表 6-2 ( $x$ 、 $y$  可按当地情况确定)。

表 6-2 以 0.9 为标准值的功率因数调整电费表

减 收 电 费		增 收 电 费			
实际功率因数	月电费减少/%	实际功率因数	月电费增加/%	实际功率因数	月电费增加/%
0.90	0.00	0.89	0.5	0.75	7.5
0.91	0.15	0.88	1.0	0.74	8.0
0.92	0.30	0.87	1.5	0.73	8.5
0.93	0.45	0.86	2.0	0.72	9.0
0.94	0.60	0.85	2.5	0.71	9.5
0.951~1.00	0.75	0.84	3.0	0.70	10.0
		0.83	3.5	0.69	11.0
		0.82	4.0	0.68	12.0
		0.81	4.5	0.67	13.0
		0.80	5.0	0.66	14.0
		0.79	5.5	0.65	15.0
		0.78	6.0	功率因数自 0.64 及以下, 每降低 0.01 电费增加 2%	
		0.77	6.5		
		0.76	7.0		

## 2. 设计任务

要求在规定的时间内独立完成下列工作量。

### 1) 编写设计说明书

- (1) 前言。
- (2) 目录。
- (3) 负荷计算, 计算结果应列表。
- (4) 无功功率补偿, 包括补偿方式的选择、补偿容量的计算、接线及电容器型号、台数的选择。
- (5) 变电所位置和形式的选择。
- (6) 通过比较确定变压器的容量和台数, 指出其节电性能和经济运行方式。
- (7) 设计接线方案的选择。
- (8) 短路电流计算、计算结果应列表。
- (9) 变电所高、低压线路的选择。

- (10) 变电所一次设备的选择与校验。
- (11) 主变压器继电保护整定计算, 原理接线图。
- (12) 变电所二次回路方案设计。
- (13) 变电所防雷计算及接地装置设计。
- (14) 参考文献。

#### 2) 绘制设计图纸

绘制设计的图纸包括变电所主接线图一张 (A2 图纸)、变电所平面布置图 1 张和主变压器继电保护原理图 1 张 (A2 图纸)。

#### 3. 设计时间

按照教学课程标准执行, 课程设计通常为 1~2 周, 作为毕业设计为 4~6 周。

#### 4. 设计的安排

设计中, 应有设计日程表, 按日程表有序进行。设计中除正常辅导外, 还宜根据日程对重点设计内容进行必要的辅导, 以及参观有关现场, 以保证设计的正确性, 按时完成设计。

#### 5. 设计过程

- (1) 分析原始资料, 初步拟定几个技术可行方案。
- (2) 选择主变。包括台数、运行方式、容量、形式、参数。
- (3) 分别拟定高、低压侧的基本接线形式。
- (4) 经过技术比较, 选出 2~3 个较优方案。
- (5) 通过经济比较计算, 确定最优方案。

## 任务 2 工厂电力负荷的计算

### ■【任务描述】

工厂供配电系统设计是整个工厂设计的重要组成部分。工厂供配电系统设计的质量直接影响到工厂的生产及其发展。作为从事工厂供电工作的工程技术人员, 必须了解和学习有关工厂供电设计的相关知识、掌握工厂用电负荷的计算, 正确选择和校验电气一次设备, 以便使工厂供电系统工作安全可靠, 运行维护方便, 投资经济合理。

### ■【知识链接】

#### 6.2.1 工厂用电设备容量的确定

电力负荷又称电力负载, 是指企业耗用电能的用电设备或用电单位。有时也把用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流大小称为电力负荷。学会计算或估算电力负荷是供电技术中很重要的一种技能, 它是正确选择供配电系统中开关电器、变压器、导线、电缆等基础, 也是保障供配电系统安全可靠运行必不可少的环节。

##### 1. 工业企业用电设备的工作制

工业企业用电设备种类繁多, 用途各异, 工作方式不同, 按其工作方式可分为以下三类:

- (1) 长期连续运行工作制。这类设备能长期连续运行, 而且运行时负荷比较稳定, 如通

风机、水泵、空压机、电热设备、照明设备、电炉、照明灯或发电机组等。

对于长期连续工作制设备，在计算其设备容量时，可直接查取其铭牌上的额定容量（额定功率），不用经过转换。

（2）短时工作制。这类设备的工作时间较短，而停歇时间相对较长，如机床上的辅助电动机，磨削刀具的电动机等属于短时工作制设备。

短时工作制设备在工厂负荷中所占比例很小，在计算其设备容量时，也是直接查取其铭牌上的额定容量（额定功率）。

（3）反复短时工作制。这类设备的工作呈周期性，时而工作时而停歇，如此反复，且工作时间与停歇时间有一定比例，如吊车电动机和电焊设备等，通常这类设备用负荷持续率（暂载率） $\varepsilon$ 来表示工作周期内的工作时间与整个工作周期的百分比值。

## 2. 设备容量的确定

（1）长期连续工作制和短时工作制的设备容量  $P_e$  就是设备的铭牌额定功率  $P_N$ ，即

$$P_e = P_N \quad (6-8)$$

（2）反复短时工作制设备容量是将某负荷持续率下的铭牌额定功率  $P_N$  换算到统一负荷持续率下的功率。

负荷持续率（暂载率） $\varepsilon$  可用一个工作周期内工作时间占整个周期的百分比来表示，即

$$\varepsilon = \frac{t}{t + t_0} \times 100\% \quad (6-9)$$

式中  $t$ ——工作时间；

$t_0$ ——停歇时间。

起重电动机的标准暂载率有 15%、25%、40%、60% 四种。

电焊设备的标准有 50%、65%、75%、100% 四种。

① 起重机（吊车电动机）。要求换算到  $\varepsilon=25\%$  时的额定功率，即

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_{25}}} = 2P_N \sqrt{\varepsilon_N} \quad (6-10)$$

式中  $P_N$ ——（换算前）设备铭牌额定功率；

$P_e$ ——换算后设备容量；

$\varepsilon_N$ ——设备铭牌暂载率。

② 电焊机设备。要求统一换算到  $\varepsilon=100\%$ ，换算公式为

$$P_e = P_N \sqrt{\varepsilon_N} = S_N \cos \varphi_N \sqrt{\varepsilon_N} \quad (6-11)$$

式中  $S_N$ ——设备铭牌额定容量；

$\cos \varphi_N$ ——设备铭牌功率因数。

③ 电炉变压器组。设备容量是指在额定功率下的有功功率，即

$$P_e = S_N \cos \varphi_N \quad (6-12)$$

式中  $S_N$ ——电炉变压器的额定容量；

$\cos \varphi_N$ ——电炉变压器的功率因数。

**例 6-1** 某工厂生产车间 380V 线路上接有金属切削机床共 20 台（其中，10.5kW 的 4 台，7.5kW 的 8 台，5kW 的 8 台），车间有 380V 电焊机 2 台（每台容量为 20kW， $\varepsilon_N=65\%$ ，



$\cos \varphi_N = 0.5$ ), 车间有吊车 1 台 (11kW,  $\varepsilon_N = 25\%$ ), 试计算此车间的设备容量。

**解:** (1) 金属切削机床的设备容量。金属切削机床属于长期连续工作制设备, 所以 20 台设备金属切削机床总容量为

$$P_{e1} = \Sigma P_{ei} = 4 \times 10.5 + 8 \times 7.5 + 8 \times 5 = 142 \text{ kW}$$

(2) 电焊机的设备容量。电焊机属于反复短时工作制设备, 它的设备容量应统一换算到  $\varepsilon = 100\%$ , 所以 2 台电焊机的设备容量为

$$P_{e2} = 2 S_N \sqrt{\varepsilon_N} \cos \varphi_N = 2 \times 20 \sqrt{0.65} \times 0.5 = 16.1 \text{ kW}$$

(3) 吊车的设备容量。吊车属于反复短时工作制设备, 它的设备容量应统一换算到  $\varepsilon_N = 25\%$ , 所以 1 台吊车的容量为

$$P_{e3} = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_{25}}} = P_N = 11 \text{ kW}$$

(4) 车间设备总容量为  $P_e = 142 + 16.1 + 11 = 169.1 \text{ kW}$ 。

## 6.2.2 负荷曲线

### 1. 负荷曲线与绘制

负荷曲线表示电力负荷随时间变动情况的曲线。在负荷曲线中通常用纵坐标表示负荷大小, 横坐标表示对应负荷变动的的时间。

负荷曲线可根据需要绘制成不同的类型。如按负荷范围可分全厂的、车间的或某台设备的负荷曲线; 按负荷的功率性质分为有功和无功负荷曲线; 按负荷变动的的时间分为年、月、日和工作班的负荷曲线; 按绘制方式分为有依点连成的负荷曲线和梯形负荷曲线等, 如图 6-1 所示。

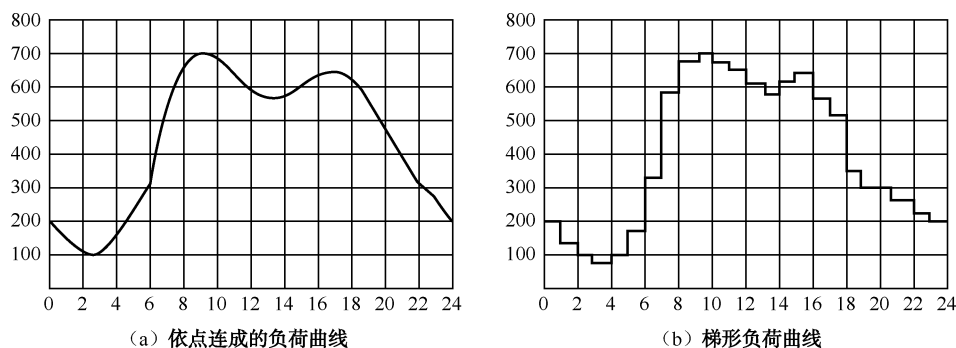


图 6-1 日有功负荷曲线

负荷曲线中应用较多的为年负荷曲线。通常是依据典型的冬日和夏日负荷曲线来绘制, 如图 6-2 (a)、图 6-2 (b) 所示。图 6-2 (c) 这种曲线的负荷从大到小依次排列, 反映了全年负荷变动与对应的负荷持续时间 (全年按 8760h 计) 的关系。这种曲线称为年负荷持续时间曲线。图 6-2 (c) 中所耗损水平, 称为年每日最大负荷曲线。

### 2. 与负荷曲线有关的参数

(1) 年最大负荷  $P_{\max}$  和年最大负荷利用小时  $T_{\max}$ 。年负荷持续时间曲线上的最大负荷就是年最大负荷  $P_{\max}$ , 它是全年中负荷最大的工作班消耗电能最多的半小时平均负荷  $P_{30}$ 。

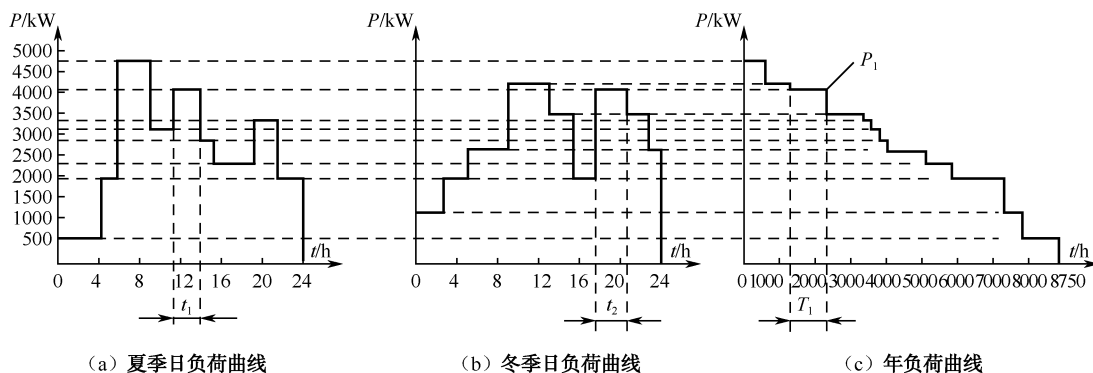


图 6-2 年负荷曲线及绘制方法

年最大负荷利用小时  $T_{\max}$  是一个等效时间, 是假设负荷按最大负荷  $P_{\max}$  持续运行时, 在此时间内, 电力负荷所耗用的电能与电力负荷全年按实际耗用的电能相同, 如图 6-3 (a) 所示, 即

$$T_{\max} = \frac{W_a}{P_{\max}} \quad (6-13)$$

式中  $W_a$ ——负荷全年实际耗用电量。

$T_{\max}$  是一个反映工厂负荷特征的重要参数, 与工厂的工作班制有明显关系: 如一班制工厂  $T_{\max} = 1800 \sim 3000\text{h}$ , 两班制工厂  $T_{\max} = 3500 \sim 4800\text{h}$ , 三班制工厂  $T_{\max} = 5000 \sim 7000\text{h}$ 。

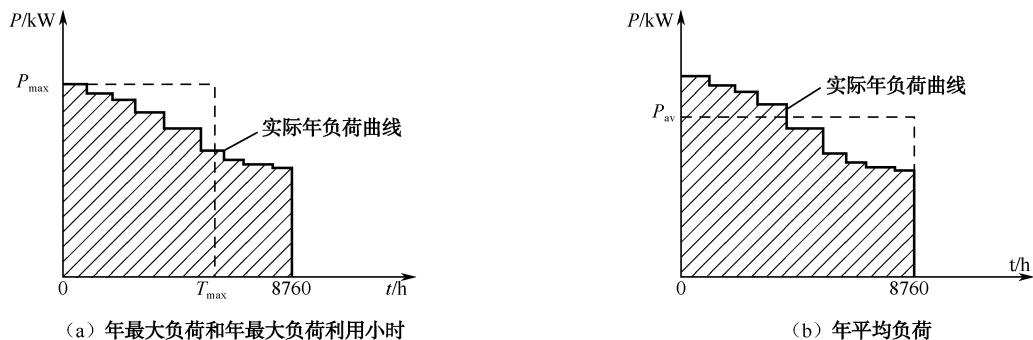


图 6-3 年最大负荷和年平均负荷

(2) 平均负荷  $P_{\text{av}}$  和年平均负荷。平均负荷就是负荷在一定实际  $t$  内平均消耗的功率, 即

$$P_{\text{av}} = \frac{W_t}{t} \quad (6-14)$$

式中  $W_t$ —— $t$  时间内耗用的电能。

年平均负荷就是全年工厂负荷消耗的总功除以全年总小时数, 如图 6-3 (b) 所示, 即

$$P_{\text{av}} = \frac{W_a}{8760} \quad (6-15)$$

年平均负荷  $P_{\text{av}}$  与最大负荷  $P_{\max}$  的比值称为负荷率, 又称负荷系数, 用  $K_L$  表示

$$K_L = \frac{P_{\text{av}}}{P_{\max}} \quad (6-16)$$

### 6.2.3 工厂计算负荷的确定

计算负荷是指统计计算求出的,用来选择和校验变压器容量及开关设备、连接该负荷的电力线路的负荷值。同时,它也是选择仪器仪表、整定继电保护的重要数据。

计算负荷确定过大,将使变压器容量、电器设备和导线截面选择过大,造成投资浪费;如果计算负荷确定过小,则会引起所选变压器容量不足或电器设备、电力线路运行时电能损耗增加,并产生过热、绝缘加速老化等现象,甚至发生事故。计算负荷通常用  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$ 、 $I_{30}$  分别表示负荷的有功计算负荷、无功计算负荷、视在计算负荷和计算电流。

计算负荷的目的主要是确定计算负荷,目前,负荷计算的方法常用需要系数法和二项式系数法。需要系数法是国际上普遍采用的确定计算负荷的基本方法,比较简便,使用广泛。二项式法的应用局限性较大,但在确定设备台数较少而容量差别悬殊的分支干线计算负荷时,较之需要系数法合理,且计算也较为简便。

#### 1. 单个用电设备的负荷计算

当供电线路上只连接一台用电设备时,供电线路在 30min 内出现的最大平均负荷,即计算负荷,即

$$P_{30} = P_N / \eta_N \approx P_N \quad (6-17)$$

式中  $P_N$ ——用电设备的额定功率, kW;

$\eta_N$ ——用电设备额定容量时的效率。

对白炽灯、电热设备、电炉变压器等的计算负荷公式为

$$P_{30} = P_N$$

#### 2. 用电设备组计算负荷的确定

##### 1) 按需要系数法确定计算负荷

需要系数的含义可用一组用电设备为例来进行说明。设某组设备有几台电动机,其额定总容量为  $P_N$ 。由于该组电动机实际上不一定都同时运行,而且运行的电动机也不可能都能满负荷,同时设备本身及配电线路也有功率损耗,因此这组电动机的有功计算负荷为

$$P_{30} = \frac{K_\Sigma K_L}{\eta_N \eta_{WL}} P_e \quad (6-18)$$

式中  $\eta_N$ ——指用电设备的平均效率;由于用电设备不一定满负荷运行,因此,引入负荷系数  $K_L$ ;由于用电设备本身,以及配电线路有功率损耗,所以引入一线路平均效率  $\eta_{WL}$ 。由于用电设备组的所有设备不一定同时运行,故引入一个同时系数  $K_\Sigma$ 。令式中  $K_\Sigma K_L / (\eta_N \eta_{WL}) = K_d$ , 即

$$K_d = \frac{P_{30}}{P_e} = \frac{K_\Sigma K_L}{\eta_N \eta_{WL}} \quad (6-19)$$

式中  $K_d$ ——用电设备组的需要系数,即用电设备组在最大负荷时需要的有功功率与其设备容量的比值。

实际上,需要系数  $K_d$  不仅与用电设备组的工作性质、设备台数、设备效率和线路损耗等因素有关,而且还与操作人员的技能和生产组织等多种因素有关,因此,应尽可能地通过实际测量分析确定。一般设备台数多时取较小值,台数少时取较大值,以使尽量接近实际。用电设备组的需要系数  $K_d$  见表 6-3 (可供参考)。

表 6-3 各用电设备组的需要系数  $K_d$ 、二项式系数及功率因数

用电设备组名称	需要系数 $K_d$	二项式系数		最大容量 设备台数	功率因数 $\cos\varphi$	$\tan\varphi$
		$b$	$c$			
小批量生产金属冷加工机床	0.16~0.2	0.14	0.4	5	0.5	1.73
大批量生产金属冷加工机床	0.1~0.25	0.14	0.5	5	0.5	1.73
小批量生产金属热加工机床	0.25~0.3	0.24	0.4	5	0.6	1.33
大批量生产金属热加工机床	0.3~0.35	0.26	0.5	5	0.65	1.17
通风机、水泵、空压机	0.7~8	0.65	0.25	5	0.8	0.75
非连锁的连续运输机械	0.5~0.6	0.4	0.2	5	0.75	0.88
连锁的连续运输机械	0.65~0.7	0.6	0.2	5	0.75	0.88
锅炉房和机加、机修、装配车间的	0.1~15	0.06	0.2	3	0.5	1.73
吊车铸造车间吊车	0.15~0.25	0.09	0.3	3	0.5	1.73
自动装料电阻炉	0.75~0.8	0.7	0.3	2	0.95	0.33
非自动装料电阻炉	0.65~0.75	0.7	0.3	2	0.95	0.33
小型电阻炉、干燥箱	0.7	0.7	—	—	1.0	0
高频感应电炉（不带补偿）	—	—	—	—	0.6	1.33
工频感应电炉（不带补偿）	0.8	—	—	—	0.35	2.68
电弧熔炉	0.9	—	—	—	0.87	0.57
点焊机、缝焊机	0.35	—	—	—	0.6	1.33
对焊机、铆钉加热机	0.35	—	—	—	0.7	1.02
自动弧焊变压器	0.5	—	—	—	0.4	2.29
单头手动弧焊变压器	0.35	—	—	—	0.35	2.68
多头手动弧焊变压器	0.4	—	—	—	0.35	2.68
生产厂房、办公室、实验室照明	0.8~1	—	—	—	1.0	0
变配电室仓库照明	0.5~0.7	—	—	—	1.0	0
生活照明	0.6~0.8	—	—	—	1.0	0
室外照明	1	—	—	—	1.0	0

① 单组用电设备组的计算负荷的基本公式。

有功计算负荷为

$$P_{30} = K_d P_e \quad (6-20)$$

无功计算负荷为

$$Q_{30} = P_{30} \tan \varphi \quad (6-21)$$

视在计算负荷为

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \quad (6-22)$$

计算电流为

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} \quad (6-23)$$

在使用需要系数法时，要正确区分各用电设备或设备组的类别。机修车间的金属切削机床电动机应属于小批生产的冷加工机床电动机。压塑机、拉丝机和锻锤等应属于热加工机床电动机。起重机、行车、电葫芦、卷扬机等实际上都属于吊车类。

② 多组用电设备的计算负荷。在确定多组用电设备的计算负荷时，应考虑各组用电设备是最大负荷不会同时出现的因素，计入一个同时系数  $K_{\Sigma}$ ，该系数取值见表 6-4。

表 6-4 同时系数  $K_{\Sigma}$

应用范围	$K_{\Sigma}$	应用范围	$K_{\Sigma}$
确定车间变电所低压线路最大负荷		确定配电所母线的最大负荷	
冷加工机床	0.7~0.8	负荷小于 5000kW	0.9~1.0
热加工机床	0.7~0.9	计算负荷为 5000~10000kW	0.85
动力站	0.9~1.0	计算负荷大于 10000kW	0.8

若进行计算的负荷有多种，则可将用电设备按其性质不同分成若干组，对每一组选用合适的需要系数，算出每组用电设备的计算负荷，然后由各组计算负荷求总的计算负荷。所以，需要系数法一般用来求多台三相用电设备的计算负荷。

求车间变电所低压母线上的计算负荷时，如果以车间用电设备为范围进行分组，求出各用电设备组的计算负荷，然后相加求车间低压母线计算负荷，此时，同时系数取为  $K_{\Sigma P} = 0.8 \sim 0.9$ ， $K_{\Sigma Q} = 0.85 \sim 0.95$ 。如果是用车间干线计算负荷相加来求出低压母线计算负荷， $K_{\Sigma P} = 0.9 \sim 0.95$ ， $K_{\Sigma Q} = 0.93 \sim 0.97$ 。

求多组用电设备或多条干线计算总的计算负荷时所用公式如下：

总的有功计算负荷为

$$P_{30} = K_{\Sigma} \Sigma P_{30i} \quad (6-24)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = K_{\Sigma} \Sigma Q_{30i} \quad (6-25)$$

总的视在计算负荷为

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \quad (6-26)$$

总的计算电流为

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} \quad (6-27)$$

**例 6-2** 用需要系数法计算例 6-1 车间的计算负荷。

**解：**① 金属切削机床组的计算负荷。查表 6-3，取需要系数和功率因数为  $K_d = 0.2$ ， $\cos \varphi = 0.5$ ， $\tan \varphi = 1.73$ ，根据式 (6-20) ~ 式 (6-23) 有

$$\begin{aligned} P_{30(1)} &= 0.2 \times 142 = 28.4 \text{ kW} \\ Q_{30(1)} &= 28.4 \times 1.73 = 49.1 \text{ kvar} \\ S_{30(1)} &= \sqrt{28.4^2 + 49.1^2} = 56.8 \text{ kV} \cdot \text{A} \\ I_{30(1)} &= \frac{56.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 86.3 \text{ A} \end{aligned}$$

② 电焊机组的计算负荷。查表 6-3 取需要系数和功率为  $K_d = 0.35$ ， $\cos \varphi = 0.35$ ， $\tan \varphi = 2.68$ ，根据式 (6-20) ~ 式 (6-23) 有

$$P_{30(2)} = 0.35 \times 16.1 = 5.6 \text{ kW}$$

$$Q_{30(2)} = 5.6 \times 2.68 = 15.0 \text{ kvar}$$

$$S_{30(2)} = \sqrt{5.6^2 + 15.0^2} = 16.0 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30(2)} = \frac{16}{\sqrt{3} \times 0.38} = 24.3 \text{ A}$$

③ 吊车组的计算负荷。查表 6-3, 取需要系数和功率为  $K_d = 0.15$ ,  $\cos \varphi = 0.5$ ,  $\tan \varphi = 1.73$ , 根据式 (6-20) ~ 式 (6-23) 有

$$P_{30(3)} = 0.15 \times 11 = 1.7 \text{ kW}$$

$$Q_{30(3)} = 1.7 \times 1.73 = 2.9 \text{ kvar}$$

$$S_{30(3)} = \sqrt{1.7^2 + 2.9^2} = 3.4 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30(3)} = \frac{3.4}{\sqrt{3} \times 0.38} = 5.2 \text{ A}$$

④ 全车间的总的负荷。根据表 6-4, 取同时系数  $K_\Sigma = 0.8$ , 所以全车间的计算负荷为

$$P_{30} = K_\Sigma \Sigma P_{ei} = 0.8 \times (28.4 + 5.6 + 1.7) = 28.6 \text{ kW}$$

$$Q_{30} = K_\Sigma \Sigma Q_{ei} = 0.8 \times (49.1 + 15 + 2.9) = 53.6 \text{ kvar}$$

$$S_{30} = \sqrt{28.6^2 + 53.6^2} = 60.8 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30} = \frac{60.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 92.4 \text{ A}$$

**例 6-3** 一机修车间的 380V 线路上, 接有金属切削机床电动机 20 台共 50kW, 其中较大容量的电动机有 2 台 7.5kW, 2 台 4kW, 8 台 2.2kW; 另接通风机 2 台共 2.4kW; 电阻炉 2kW 1 台。试求计算负荷 (设同时系数为 0.9)。

**解:** 以车间为范围, 将工作性质、需要系数相近的用电设备合为一组。

① 冷加工电动机。查表 6-3, 取  $K_{d1} = 0.2$ ,  $\cos \varphi_1 = 0.5$ ,  $\tan \varphi_1 = 1.73$ , 则

$$P_{30(1)} = K_{d1} P_{e1} = 0.2 \times 50 = 10 \text{ kW}$$

$$Q_{30(1)} = P_{30(1)} \tan \varphi_1 = 10 \times 1.73 = 17.3 \text{ kvar}$$

② 通风机。查表 6-3, 取  $K_{d2} = 0.8$ ,  $\cos \varphi_2 = 0.8$ ,  $\tan \varphi_2 = 0.75$ , 则

$$P_{30(2)} = K_{d2} P_{e2} = 0.8 \times 2.4 = 1.92 \text{ kW}$$

$$Q_{30(2)} = P_{30(2)} \tan \varphi_2 = 1.92 \times 0.75 = 1.44 \text{ kvar}$$

③ 电阻炉。查表 6-3, 取  $K_{d3} = 0.7$ ,  $\cos \varphi_3 = 1.0$ ,  $\tan \varphi_3 = 0$ , 则

$$P_{30(3)} = K_{d3} P_{e3} = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$Q_{30(3)} = 0 \text{ kvar}$$

计算总的负荷, 即

$$P_{30} = K_\Sigma \Sigma P_{30i} = 0.9 \times (10 + 1.92 + 1.4) = 12 \text{ kW}$$

$$Q_{30} = K_\Sigma \Sigma Q_{30i} = 0.9 \times (17.3 + 1.44 + 0) = 16.9 \text{ kvar}$$

$$S_{30} = \sqrt{12^2 + 16.9^2} = 20.73 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} = \frac{20.73}{\sqrt{3} \times 0.38} = 31.5 \text{ A}$$

## 2) 二项式系数法

在计算设备台数不多, 而且各台设备容量相差较大的车间干线和配电箱的计算负荷时, 采用二项式系数法。基本公式为

$$P_{30} = bP_e + cP_x \quad (6-28)$$

$$Q_{30} = P_{30} \tan \varphi \quad (6-29)$$

式中  $b$ 、 $c$ ——二项式系数, 根据设备名称、类型、台数查表 6-3 选取;

$bP_e$ ——用电设备组的平均负荷, 其中,  $P_e$  为用电设备组的设备总容量;

$P_x$ ——指用电设备中  $x$  台容量最大的设备容量之和。 $cP_x$  指用电设备中  $x$  台容量最大的设备投入运行时增加的附加负荷。

其余的计算负荷  $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$  的计算公式与前面需要系数法相同。

当只有一台设备时, 可认为  $P_{30} = P_e$ , 即  $b=1$ ,  $c=0$ ;  $\tan \varphi$  为设备功率因数角的正切值。在确定总计算负荷时, 考虑到用电设备各组的最大负荷不同时出现的因素, 只能在各组用电设备中取一组最大的附加负荷, 再加上各组用电设备的平均负荷, 即

$$P_{30} = \Sigma(bP_e)_i + (cP_x)_{\max} \quad (6-30)$$

$$Q_{30} = \Sigma(bP_e \tan \varphi)_i + (cP_x)_{\max} \tan \varphi_{\max} \quad (6-31)$$

式中  $(bP_e)_i$ ——各用电设备组的平均功率;

$P_e$ ——各用电设备组的设备总容量;

$cP_x$ ——每组用电设备中  $x$  台容量较大的设备的附加负荷;

$(cP_x)_{\max}$ ——附加负荷最大的一组设备的附加负荷;

$\tan \varphi_{\max}$ ——最大附加负荷设备组功率因数角的正切值。

**例 6-4** 试用二项式法来确定例 6-3 中的计算负荷。

**解:** 先分别求出各组的平均功率  $bP_e$  和附加负荷  $cP_x$ 。

① 金属切削机床电动机组。查表 6-3, 取  $b=0.14$ ,  $c=0.4$ ,  $x=5$ ,  $\cos \varphi=0.5$ ,  $\tan \varphi=1.73$ , 则

$$(bP_e)_1 = 0.14 \times 50 \text{ kW} = 7 \text{ kW}$$

$$(cP_x)_1 = 0.4 \times (7.5 \times 2 + 4 \times 2 + 2.2 \times 1) = 10.08 \text{ kW}$$

② 通风机组。查表 6-3, 取  $b=0.65$ ,  $c=0.25$ ,  $x=2$ ,  $\cos \varphi=0.8$ ,  $\tan \varphi=0.75$ , 则

$$(bP_e)_2 = 0.65 \times 2.4 = 1.56 \text{ kW}$$

$$(cP_x)_2 = 0.25 \times 2.4 = 0.6 \text{ kW}$$

③ 电阻炉。查表 6-3, 取  $b=0.7$ ,  $c=0$ ,  $x=1$ ,  $\cos \varphi=1$ ,  $\tan \varphi=0$ , 则

$$(bP_e)_3 = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$(cP_x)_3 = 0$$

显然, 三组用电设备中, 第一组的附加负荷  $(cP_x)_1$  最大, 因此, 总的计算负荷为

$$P_{30} = \Sigma(bP_e)_i + (cP_x)_1 = (7 + 1.56 + 1.4) + 10.08 = 20.04 \text{ kW}$$

$$Q_{30} = \Sigma(bP_e \tan \varphi)_i + (cP_x)_1 \tan \varphi_1 = (7 \times 1.73 + 1.56 \times 0.75 + 0) + 10.08 \times 1.73 = 30.72 \text{ kvar}$$

$$S_{30} = \sqrt{(20.04 \text{ kW})^2 + (30.72 \text{ kvar})^2} = 36.68 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30} = \frac{36.68 \text{ kV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV}} = 55.73 \text{ A}$$

比较例 6-3 和例 6-4 的计算结果可知,按二项式法计算的结果比按需要系数法计算的结果大得多,可见,二项式系数法不太适合此类负荷的计算。而需要系数法比较简单,该系数是按照车间及以上的负荷情况来确定的,适用于变配电所的负荷计算。

### 3. 单相用电设备计算负荷的确定

单相设备接于三相线路中,应尽可能地均衡分配,使三相负荷尽可能平衡。如果均衡分配后,三相线路中剩余的单相设备总容量不超过三相设备总容量的 15%,可将单相设备总容量视为三相负荷平衡进行负荷计算。如果超过 15%,则应先将这部分单相设备容量换算为等效三相设备容量,再进行负荷计算。

① 单相设备接于相电压时,在尽量使三相负荷均衡分配后,取最大负荷相所接的单相设备容量乘以 3,便可求得其实效三相设备容量。而等效三相负荷可按上述的需要系数法计算。

② 单相设备接于线电压时,其实效三相设备容量  $P_e$  为  
单台设备时

$$P_e = \sqrt{3}P_{e,\varphi}$$

2~3 台设备时

$$P_e = 3P_{e,\varphi,\max}$$

等效三相负荷可按上述的需要系数法计算。

### 4. 工厂照明负荷的确定

照明供电系统是工厂供电系统的一个组成部分。电气照明负荷也是电力负荷的一部分。良好的照明环境是保证工厂安全生产、提高劳动生产率、提高产品质量、改善职工劳动环境、保障职工身体健康的重要条件。工厂的电气照明设计,一般应根据生产的性质、厂房的自然条件等因素选择合适的光源和灯具,进行合理的布置,使工作场所的照明度达到规定的要求。

#### 1) 照明设备容量的确定

(1) 白炽灯、碘钨灯等不用镇流器的照明设备,容量通常指灯头的额定功率,即  $P_e = P_N$ 。

(2) 荧光灯、高压汞灯、金属卤化物灯需用镇流器的照明设备,其容量包括镇流器中的功率损失,所以一般略高于灯头的额定功率,即

$$P_e = 1.1P_N$$

(3) 照明设备的额定容量还可按建筑物的单位面积容量法估算,即

$$P_e = \omega S / 1000$$

式中  $\omega$ ——建筑物单位面积的照明容量,  $W/m^2$ ;

$S$ ——建筑物的面积,  $m^2$ 。

#### 2) 照明计算负荷的确定

照明设备通常都是单向负荷,在设计安装时,应将它们均匀地分配到三相上,力求减少三相负荷不平衡状况。设计规范规定,如果三相电路中单相设备总容量不超过三相设备容量的 15%时,则单向设备可按三相平衡负荷考虑;如果三相电路中单向设备总容量超过三相设备容量的 15%,且三相明显不对称时,则首先应将单向设备容量乘以 3,作为等效三相设备容量,再与需要系数及功率因数按表 6-5 选取,负荷计算公式如前面所述的需要系数法。



表 6-5 照明设备组的需要系数及功率因数

光源类别	需要系数 $K_d$	功率因数 $\cos\varphi$				
		白炽灯	荧光灯	高压汞灯	高压钠灯	金属卤化物灯
生产车间办公室	0.8~1	1	0.9(0.55)	0.45~0.65	0.45	0.40~0.61
变配电所、仓库	0.5~0.7	1	0.9(0.55)	0.45~0.65	0.45	0.40~0.61
生活区宿舍	0.6~0.8	1	0.9(0.55)	0.45~0.65	0.45	0.40~0.61
室外	1	1	0.9(0.55)	0.45~0.65	0.45	0.40~0.61

## 5. 全厂计算负荷的确定

### 1) 用需要系数法计算全厂计算负荷

在已知全厂用电设备总容量  $P_e$  的条件下, 乘以一个工厂的需要系数  $K_d$ , 即可求得全厂的有功计算负荷, 即  $P_{30} = K_d P_e$ , 其中,  $K_d$  是全厂需要系数值。

其他计算负荷的求法与前面的相同, 全厂负荷的需要系数及功率因数见表 6-6。

表 6-6 全厂负荷的需要系数及功率因数

工厂类别	需要系数	功率因数	工厂类别	需要系数	功率因数
汽轮机制造厂	0.38	0.88	石油机械制造厂	0.45	0.78
锅炉制造厂	0.27	0.73	无线电制造厂	0.35	0.73
柴油机制造厂	0.32	0.74	开关电器制造厂	0.35	0.75
重型机床制造厂	0.32	0.71	橡胶厂	0.5	0.72
仪器仪表制造厂	0.37	0.81	通用机械厂	0.4	0.72
电机制造厂	0.33	0.81			

**例 6-5** 已知某开关电器制造厂用电设备总容量为 4500kW, 试估算该厂的计算负荷。

**解:** 查表 6-3 和 6-6, 取  $K_d$  为 0.35,  $\cos\varphi = 0.75$ , 则  $\tan\varphi = 0.88$ , 可得

$$\begin{aligned}
 P_{30} &= K_d P_e = 0.35 \times 4500 = 1575 \text{ kW} \\
 Q_{30} &= P_{30} \tan\varphi = 1575 \times 0.88 = 1386 \text{ kvar} \\
 S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{1575^2 + 1386^2} = 2098 \text{ kV} \cdot \text{A} \\
 I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} = \frac{2098}{1.732 \times 0.38} = 3187.7 \text{ A}
 \end{aligned}$$

### 2) 用逐级推算法计算全厂的计算负荷

在确定各用电设备组的计算负荷后, 要确定车间或全厂的计算负荷, 可以采用用电设备组开始, 逐级向电源方向推算的方法, 在经过变压器和较长的线路时, 应加上变压器和线路的损耗。图 6-4 所示为逐级推算法示意图。

在确定全厂计算负荷时, 应从用电末端开始, 逐步向上推算至电源进线端。

$P_{305}$  等于计算负荷  $P_{306}$  之和, 再乘以同时系数  $K_{\Sigma P}$ ; 由于  $P_{304}$  要考虑线路  $WL_2$  的损耗, 因此,  $P_{304} = P_{305} + \Delta P_{WL2}$ ;  $P_{303}$  由

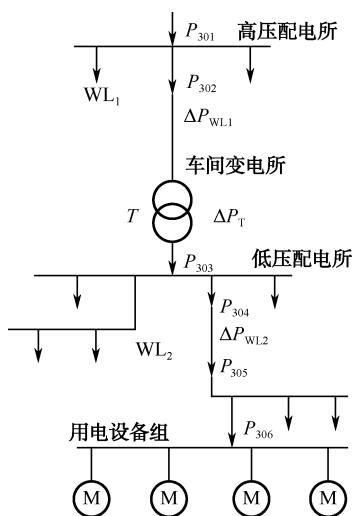


图 6-4 逐级推算法示意图

$P_{304}$  等几条高压配电线路上计算负荷之和乘以一个同时系数  $K_\Sigma$  而得;  $P_{302}$  还要考虑变压器的损耗, 因此,  $P_{302} = P_{303} + \Delta P_{WL1} + \Delta P_T$ ;  $P_{301}$  由  $P_{302}$  等几条高压配电线路上计算负荷之和乘以一个同时系数  $K_\Sigma$  而得。

对中小型工厂来说, 厂内高低压配电线路一般不长, 其功率损耗可略去不计。

电力变压器的功率损耗, 在一般的负荷计算中, 可采用简化公式近似计算, 即有功功率损耗为

$$\Delta P_T = 0.015 S_{30} \quad (6-32)$$

无功功率损耗为

$$\Delta Q_T = 0.06 S_{30} \quad (6-33)$$

式中  $S_{30}$ ——变压器二次侧的视在计算负荷, 它是选择变压器的基本依据。

### 3) 按年产量和年产值估算全厂的计算负荷

已知全厂的年产量  $A$  或年产值  $B$ , 就可根据全厂的单位产量  $a$  或单位产值  $b$ , 求出全厂的全年耗电量

$$W_a = Aa = Bb \quad (6-34)$$

求出全年耗电量后, 即可根据下式求出全厂的有功计算负荷为

$$P_{30} = W_a / T_{\max} \quad (6-35)$$

式中  $T_{\max}$ ——工厂年最大负荷利用小时。

## 6. 工厂的功率因素及无功补偿

### 1) 工厂功率因数的分类和计算

① 瞬时功率因数。瞬时功率因数可由功率因数表直接测量, 也可间接测量, 即由功率表、电流表和电压表的读数按下式计算, 即

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI} \quad (6-36)$$

式中  $P$ ——功率表测出的三相有功功率读数, kW;

$U$ ——电压表测出的线电压读数 V;

$I$ ——电流表测出的线电流读数 A。

瞬时功率因数只用来了解和分析工厂或设备在生产过程中无功功率的变化情况, 以便采取适当的补偿措施。

② 平均功率因数。是指某一规定时间段内功率因数的平均值, 可根据规定时间段内有功电度表、无功电度表的积累数据按下式计算, 即

$$\cos \varphi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} \quad (6-37)$$

式中  $W_P$ ——有功电度表读数;

$W_Q$ ——无功电度表的读数。

③ 最大负荷时的功率因数。是指配电系统运行在年最大负荷(计算负荷)时的功率因数。可根据工厂有功计算负荷和视在计算负荷按下式计算, 即

$$\cos \varphi = P_{30} / S_{30} \quad (6-38)$$

式中  $P_{30}$ ——工厂的有功计算负荷;

$S_{30}$ ——工厂视在计算负荷。

我国有关规定：高压供电的工厂，最大负荷时的功率因数不低于 0.9，其他工厂不得低于 0.85。

## 2) 功率因数对供配电系统的影响

所有具有电感特性的用电设备都需要从供配电系统中吸收无功功率，从而降低功率因数。功率因数太低将给供配电系统带来以下不良影响：

① 电能损耗增加。当输送功率和电压一定时，由  $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$  可知，功率因数越低，线路上电流越大，因此，在输电线上产生的电能损耗  $\Delta P = I^2 R_l$  增加。

② 电压损失增大。线路上电流增大，必然也造成线路压降的增大，而线路压降增大，又会造成用户端电压降低，从而影响供电质量。

③ 供电设备利用率降低。无功电流增加后，供电设备的温升会超过规定范围。为控制设备温升，所以工作电流也受到控制，在功率因数降低后，不得不降低输送的有功功率  $P$  来控制电流  $I$  的值，这样就降低了供电设备的供电能力。

正是由于功率因数在供配电系统中影响很大，所以，要求电力用户功率因数达到一定的值，不能太低，太低就必须补偿。国家标准 GB/T3485—1998《评价企业合理用电技术导则》中规定：“在企业最大负荷时的功率因数应不低于 0.9，凡功率因数未达到上述规定的，应在负荷侧集中补偿无功功率，即集中安装无功补偿设备电容器”。为鼓励提高功率因数，供电部门规定，凡功率因数低于规定值时，将予以罚款，相反，功率因数高于规定值时，将得到奖励，即采用“高奖低罚”的原则。

这里所指的功率因数，即最大负荷时的功率因数。

## 3) 电力电容器

电力电容器在交流电路中，其电流始终超前电压 90°，发出容性无功功率，并具有聚集电荷而存储电场能量的基本性能，因此，电力系统中常利用电力电容器进行无功补偿。

(1) 电力电容器在电力系统中的作用。在供配电系统中，电力电容器具有多种直接和间接用途。主要用途之一是补偿电力系统中的无功功率，从而大量节约电能，这种电容器就是移相电容器。其次，电容器还可以用来补偿长距离输电线路本身的电感损失，提高线路功率因数。

电力系统的负荷，如感应电动机、电焊机、感应电炉等，不但需要消耗有功功率，还要吸收无功功率。这里所说的有功功率是指消耗掉的平衡功率；无功功率则指波动的交换的功率。在电力系统中，无功功率是用于建立磁场的能量，这部分能量给有功功率的转换创造了条件。

由于电力系统中许多设备不仅要消耗掉有功功率，设备本身的电感损失还要消耗无功功率，使系统的功率因数降低。如果把“发出”的无功功率的电容器并联在负荷或供电设备上运行，那么，负荷或供电设备要“吸收”的无功功率正好由电容器“发出”的无功功率供给，从而起到无功补偿作用，这就是电力电容器在电力系统中的主要作用。在电力线路两端并联上移相电容器，线路就可避免无功功率的输送，以达到减小线路能量损耗，减小线路电压降，提高系统有关出力的效益，因此，移相电容器是提高电力系统功率因数的一种重要电力设备。

(2) 电力电容器部分型号表示。电力电容器部分型号表示见表 6-7。

表 6-7 电力电容器部分型号表示

第一位字母	含 义	第 二 字 母	含 义	第三位字母	含 义
B	标准	D	充氮单相	F	复合介质
Y	移相用			W	户外式
C	串联用	Y	油浸	S	水冷
J	均压			T	可调
O	耦合	L	氯化联苯浸渍	C	充击放电
L	滤波用			B	薄膜
M	脉冲用			D	一般接地
F	防护用			R	电容式
R	电热				

**例 6-6** 试述 CY0.6-10-1 型串联电容器部分型号表示见表 6-7。

查表 6-7 可知, C 表示串联电容器, Y 表示油浸式。另外, 0.6 表示额定电压 0.6kV, 10 表示标称容量为 10kvar, 1 表示单相。

#### 4) 调相机

调相机是吸收系统少量有功功率来供给本身的能量损耗, 向系统发出无功功率和吸收无功功率的一种电气设备。调相机不需要原动机拖动, 但必须和电网并联运行而不能单独运行。

调相机在电力系统中的作用。随着电力系统不断扩大和发展, 无功功率也随着增加。有功与无功的比率为 1:1.2~1.3, 因而单靠发电机供电, 必然会影响其有功功率的出力。为了减小系统输电线往返传送中的各种损耗, 减小电能损失, 改善功率因数, 有效地提高系统电压水平, 提高发电设备的利用率, 电力系统一般要在负荷中心或附近设置一定数量的无功电源设备, 以补偿无功功率的不足, 提高电力系统的经济运行。

电力系统设置一定数量的无功补偿设备——调相机和电容器后, 不但可以降低网络中的功率和电能损耗, 提高系统运行的经济性, 还可调整网络节点电压, 维持负荷的电压水平, 提高供电电能的质量。

#### 5) 无功功率补偿

工厂中的电气设备多为感性负载, 在运行过程中, 除了消耗有功功率外, 还需要大量无功功率在电源至负荷之间交换, 导致功率因数降低, 所以, 一般工厂的自然功率因数都比较低, 给工厂供配电系统造成不利影响。

根据我国制定的按功率因数调整收费的办法要求, 高压供电的工业用户和高压供电装有带负荷调压装置的电力用户, 功率因数应达到 0.9 以上, 其他用户功率因数应在 0.85 以上, 当功率因数低于 0.7 时, 电业局不予供电。因此, 工厂在改善设备运行性能, 合理调整运行方式提高自然功率因数(是指用电设备或工厂在没有安装人工补偿装置时的功率因数, 有瞬时值和平均值两种)的情况下, 都需要安装无功功率补偿装置, 提高工厂供配电系统的功率因数。

提高功率因数的方法很多, 可分为两大类, 即提高自然功率因数的方法和人工补偿无功功率提高功率因数的方法。在工厂配电系统中, 人工补偿无功功率提高功率因数的方法通常是安装移相电容器。

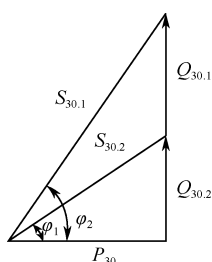


图 6-5 无功功率  
补偿原理图

如图 6-5 所示, 可以看出功率因数提高与无功功率和视在功率变化关系。假设功率因数由  $\cos \varphi_1$  提高到  $\cos \varphi_2$ , 这时, 在有功功率  $P_{30}$  不变的条件下, 无功功率将由  $Q_{30.1}$  减小到  $Q_{30.2}$ , 视在功率将由  $S_{30.1}$  减小到  $S_{30.2}$ , 从而负荷电流也得以减小, 这将使系统的无功电能损耗和电压损耗相应降低, 既节约了电能, 又提高了电压质量, 而且可选较小容量的供电设备和导线电缆, 因此, 提高功率因数对电力系统大有好处。

#### 6) 补偿容量和补偿后的计算负荷

① 补偿容量的计算。已知某工厂或车间补偿前的计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和自然功率因数  $\cos \varphi_1$ , 若要求把功率因数提高到  $\cos \varphi_2$ , 应补偿容量按下式计算, 即

$$Q_C = P_{30}(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (6-39)$$

式中  $P_{30}$ ——有功计算负荷;

$\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ ——补偿前后功率因数角;

$Q_C$ ——无功补偿容量。

② 补偿后的计算负荷。在确定了总的补偿容量  $Q_C$  后, 还应选择补偿电容器的单台容量  $q_C$  和电容器的数量  $n$ 。这时要考虑并联电容器的接法, 以及电容器实际运行电压的可能与额定电压不同等具体问题。在选择了移相电容器的单个容量  $q_C$  后, 即可按式 (6-40) 确定电容器的个数, 即

$$n = Q_C / q_C \quad (6-40)$$

由上式计算求出的电容器个数  $n$ , 对于单相电容器, 应取为 3 的倍数, 以便三相平均分配安装。

补偿后工厂的有功计算负荷不变, 但电源向工厂提供的无功功率将减小, 在确定补偿装置装设地点以前的计算负荷时, 应减去无功补偿容量, 总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = Q_{30} - Q_C \quad (6-41)$$

补偿后的视在计算负荷为

$$S'_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{P_{30}^2 + (Q_{30} - Q_C)^2} \quad (6-42)$$

**例 6-6** 已知某工厂变电所低压侧的有功计算负荷为 650kW, 无功计算负荷为 800kvar。为了使工厂 (变电所高压侧) 的功率因数不低于 0.9, 如在低压侧装设并联电容器进行补偿时, 需装设多少补偿容量? 补偿前后工厂变电所主变压器的容量有何变化?

**解:** (1) 补偿前的变压器容量和功率因数。变电所低压侧的视在计算负荷为

$$S_{30(2)} = \sqrt{650^2 + 800^2} = 1031 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

因此, 未考虑无功补偿时, 主变压器的容量限制为 1250kV · A, 见表 6-3。

变电所低压侧的功率因数为

$$\cos \varphi_{(2)} = P_{30(2)} / S_{30(2)} = 650 / 1031 = 0.63$$

(2) 无功补偿容量。按相关规定, 补偿后变电所高压侧的功率因数不应低于 0.9, 即  $\cos \varphi_{(1)} \geq 0.9$ 。在变压器低压侧进行补偿时, 因为考虑到变压器的无功功率损耗远大于有功功率损耗, 所以, 低压侧补偿后的低压侧功率因数应高于 0.9。这里取补偿后低压侧功率因数  $\cos \varphi_{(2)} = 0.92$ 。因此, 在低压侧需要装设的并联电容器容量为

$$Q_C = 650 \times (\tan \arccos 0.63 - \tan \arccos 0.92) \text{kvar} = 525 \text{kvar}$$

取整数  $Q_C = 530 \text{kvar}$ 。

(3) 补偿后重新选择变压器容量。变电所低压侧的视在计算负荷为

$$S'_{30(2)} = \sqrt{650^2 + (800 - 530)^2} = 704 \text{kV} \cdot \text{A}$$

因此, 无功功率补偿后的主变压器容量可选择  $800 \text{kV} \cdot \text{A}$ , 见表 6-3。

(4) 补偿后变压器功率损耗为

$$\Delta P_T = 0.015 S'_{30(2)} = 0.015 \times 704 = 10.6 \text{kW}$$

$$\Delta Q_T = 0.06 S'_{30(2)} = 0.06 \times 704 = 42.2 \text{kvar}$$

变电所高压侧的计算负荷为

$$P'_{30(1)} = 650 + 10.6 = 661 \text{kW}$$

$$Q'_{30(1)} = (800 - 530) + 42.2 = 312 \text{kvar}$$

$$S'_{30(1)} = \sqrt{661^2 + 312^2} = 731 \text{kV} \cdot \text{A}$$

补偿后工厂的功率因数为

$$\cos \varphi' = 661 / 731 = 0.904 > 0.9$$

满足相关规定的要求。

(5) 无功补偿前后的比较。

$$S'_N - S_N = 1250 - 800 = 450 \text{kV} \cdot \text{A}$$

由此可见, 补偿后主变压器的容量减小了  $450 \text{kV} \cdot \text{A}$ , 不仅减少了投资, 而且减少电费的支出, 提高了功率因数。

## 7. 尖峰电流的计算

尖峰电流  $I_{pk}$  是指单台或多台用电设备持续  $1 \sim 2\text{s}$  的短时最大负荷电流。尖峰电流是由于电动机启动、电压波动等原因引起的, 与计算电流不同。计算电流是指半小时最大电流, 尖峰电流比计算电流大得多。

计算尖峰电流主要用来选择熔断器和低压断路器, 整定继电保护及检验电动机自启动条件等。

### 1) 单台用电设备尖峰电流的计算

单台用电设备尖峰电流就是其启动电流, 因此, 尖峰电流  $I_{pk}$  为

$$I_{pk} = I_{st} = K_{st} I_N \quad (6-43)$$

式中  $I_N$ ——用电设备的额定电流;

$K_{st}$ ——用电设备的启动电流倍数, 笼型电动机为  $5 \sim 7$ , 绕线式异步电动机为  $2 \sim 3$ , 直流电动机为  $1.7$ , 电焊变压器为  $3$  或稍大。

### 2) 多台用电设备尖峰电流的计算

多台用电设备的线路上, 其尖峰电流按下式计算, 即

$$I_{pk} = K_{\Sigma} \sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i} + I_{st \max} \quad (6-44)$$

或者

$$I_{pk} = I_{30} + (I_{st} - I_N)_{\max} \quad (6-45)$$

式中  $I_{\text{stmax}}$ ——用电设备中启动电流与额定电流之差为最大的那台设备的启动电流；

$K_{\Sigma}$ —— $n-1$  台设备的同时系数，其值按台数多少选取，一般为  $0.7\sim 1$ ；

$(I_{\text{st}} - I_{\text{N}})_{\text{max}}$ ——用电设备组中启动电流与额定电流之差，等于最大设备的启动电流与额定电流之差；

$I_{30}$ ——全部设备投入运行时线路的计算电流；

$\sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{N}i}$ ——将启动电流与额定电流之差为最大台设备除外的其他  $n-1$  台设备的额定电流之和。

**例 6-7** 有一 380V 三相线路，给四台电动机供电，已知  $I_{\text{N}1}=5.8\text{A}$ ， $I_{\text{N}2}=5\text{A}$ ， $I_{\text{N}3}=35.8\text{A}$ ， $I_{\text{N}4}=27.6\text{A}$ ， $I_{\text{st}1}=40.6\text{A}$ ， $I_{\text{st}2}=35\text{A}$ ， $I_{\text{st}3}=197\text{A}$ ， $I_{\text{st}4}=193.2\text{A}$ ，试计算该线路的尖峰电流。

**解：**由已知条件可知，电动机 M4 的  $I_{\text{st}} - I_{\text{N}} = 193.2 - 27.6 = 165.6\text{A}$  为最大。取  $K_{\Sigma} = 0.9$ ，该线路的尖峰电流为

$$I_{\text{pk}} = K_{\Sigma}(I_{\text{N}1} + I_{\text{N}2} + I_{\text{N}3}) + I_{\text{st}4} = 0.9 \times (5.8 + 5 + 35.8) + 193.2 = 235\text{A}$$

## 实操训练 18 某工厂供配电系统的负荷计算

### 1. 某工厂负荷情况

工厂多数车间为两班制。变压器全年投入运行时间为 8000h，最大负荷利用小时  $T_{\text{max}}$  为 4000h。新建工厂变电所的负荷统计资料见表 6-8。

表 6-8 新建工厂变电所负荷统计资料

负荷性质	负荷名称	设备容量/kW	功率因数	需要系数	负荷类别
全厂动力	铸造车间	500	0.70	0.4	2
	锻压车间	450	0.65	0.3	3
	金工车间	400	0.65	0.3	3
	工具车间	300	0.65	0.2	3
	电镀车间	400	0.75	0.6	2
	热处理车间	300	1.00	0.5	3
	装配车间	200	0.70	0.4	3
	机修车间	150	0.60	0.3	3
	锅炉房	80	0.70	0.6	2
	仓库	20	0.60	0.3	3
全厂照明	照明	80	0.90	0.85	3
生活照明	宿舍区	300	0.90	0.8	3

### 2. 工厂供配电系统的负荷计算

- (1) 低压侧各车间的负荷计算，并列于统一的表中。
- (2) 无功补偿的计算。
- (3) 变压器容量的确定。
- (4) 高压侧进线的负荷计算。

### 6.2.4 问题与思考

1. 什么是平均功率因数和最大负荷时功率因数？各如何计算，各有何用途？
2. 提高功率因数进行无功功率补偿有什么意义？无功补偿有哪些方法？
3. 需要系数的含义是什么？
4. 什么是计算负荷？为什么计算负荷通常采用半小时最大负荷？正确确定计算负荷有何意义？
5. 确定计算负荷的需要系数法和二项式法各有什么特点？各适用哪些场合？
6. 如何将单相负荷简便地换算为三相负荷？
7. 已知线电压为 380V 的三相供电线路供给 35 台小批量生产的冷加工机床电动机，总容量为 85kW，其中，较大容量的电动机 7.5kW 应有一台，4kW 有 3 台，3kW 有 12 台，试分别用需要系数法和二项式法确定其计算负荷。
8. 有一个机修车间，有冷加工机床 30 台，设备总容量为 150kW，电焊机 5 台，共 15.5kW，利用率只有 65%，通风机 4 台，共 4.8kW，车间采用 380/220V 线路供电，试确定该车间的计算负荷。

## 任务 3 短路故障和短路电流的计算

### 【任务描述】

在供配电系统的设计和运行中，不仅要考虑系统的正常运行状态，还要考虑系统的不正常运行状态和故障情况，最严重的故障是短路故障。

短路电流计算的目的：一是校验所选设备在短路状态下是否满足动稳定和热稳定的要求；二是为线路过流保护装置动作电流的整定提供依据。

### 【知识链接】

#### 6.3.1 短路故障的原因和种类

##### 1. 短路故障的原因

短路故障是指运行中的电力系统或工厂供配电系统的相与相或者相与地之间发生的金属性非正常连接。短路产生的原因主要是系统中带电部分的绝缘出现破坏，造成的直接原因一般是由于过电压、雷击、绝缘材料的老化，以及人员的误操作和施工机械的破坏，或鸟害、鼠害等原因造成的。

以运行人员带负荷分断隔离开关为例，由于隔离开关的功能是起隔离和分断小电流的作用，无灭弧装置或只有简单的灭弧装置，因而它不能分断大电流。如果运行人员带大电流分断隔离开关，就会使强大电流在隔离开关的断口形成电弧，由于隔离开关无法熄灭电弧，很容易形成“飞弧”，造成隔离开关的相与相或者相与地之间出现短路，导致人身和设备的安全事故。

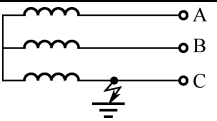
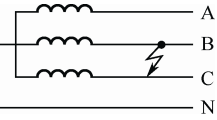
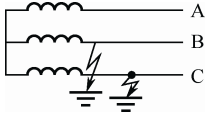
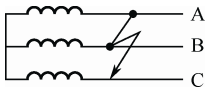
##### 2. 短路故障的种类

在电力系统中，短路故障对电力系统的危害最大，按照短路的情况不同，短路的类型可分为四种，表 6-9 中是各种短路符号和特点。



三相交流系统的短路种类主要有表 6-9 中所示的三相短路、两相短路、单相短路和两相接地短路。其中，单相短路是指供配电系统中任一相经大地与中性点或与中线方式的短路，用  $k^{(1)}$  表示；两相短路是指三相供配电系统中任意两相导体间的短路，用  $k^{(2)}$  表示；三相短路是指供配电系统三相导体间的短路，用  $k^{(3)}$  表示；两相接地短路是指中性点不接地系统中任意两相发生单相接地而产生的短路，用  $k^{(1,1)}$  表示。

表 6-9 短路种类、表示符号、性质及特点

短路名称	表示符号	示意图	短路性质	特点
单相短路	$k^{(1)}$		不对称短路	短路电流仅在故障相中流过，故障相电压下降，非故障相电压会升高
二相短路	$k^{(2)}$		不对称短路	短路回路中流过很大的短路电流，电压和电流的对称性被破坏
二相接地短路	$k^{(1,1)}$		不对称短路	短路回路中流过很大的短路电流，故障相电压为零
三相短路	$k^{(3)}$		对称短路	三相电路中都流过很大的短路电流，短路时，电压和电流保持对称，短路点电压为零

当线路设备发生三相短路时，由于短路的三相阻抗相等，因此，三相电流和电压仍是对称的，所以三相短路又称对称短路，其他类型的短路不仅相电流、相电压大小不同，而且各相之间的相位角也不相等，这些类型的短路统称为不对称短路。

电力系统中，发生单相短路的可能性最大，而发生三相短路的可能性最小，但通常三相短路电流最大，造成的危害也最严重。因此，常以三相短路时的短路电流热效应和电动力效应来校验电气设备。

### 3. 短路的危害

发生短路时，由于短路回路的阻抗很小，产生的短路电流较正常电流大数十倍，可能高达数万甚至数十万安培。同时系统电压降低，离短路点越近电压降低越大，三相短路时，短路点的电压可能降到零。因此，短路将造成严重危害。如下所示：

- (1) 短路产生很大的热量，导体温度升高，将绝缘损坏。
- (2) 短路产生巨大的电动力，使电气设备受到惊吓损坏。
- (3) 短路使系统电压严重降低，电气设备正常工作受到破坏。例如，异步电动机的转矩与外施电压的平方成正比，当电压降低时，其转矩降低使转速减慢，造成电动机过热烧坏。
- (4) 短路造成停电，给国民经济带来损失，给人民生活带来不便。
- (5) 严重的短路将影响电力系统运行的稳定性，使并联运行的同步发电机失去同步，严重的可能造成系统解列，甚至崩溃。
- (6) 单相短路产生的不平衡磁场，对附近的通信线路和弱电设备产生严重的电磁干扰，影响其正常工作。

由此可见,短路产生的后果极为严重,在供配电系统的设计和运行中应采取有效措施,设法消除可能引起短路的一切因素,使系统安全可靠地运行。同时,为了减轻短路的严重后果和防止故障扩大,需要计算短路电流,以便正确地选择和校验各种电气设备,计算和整定保护短路的继电保护装置和选择限制短路电流的电气设备(如电抗器)等。

### 6.3.2 短路计算方法简介

短路计算的方法常用的有以下几种:有名值法、标幺值法、短路容量法。当供配电系统中某处发生短路时,其中一部分阻抗被短接,网络阻抗发生变化,所以在进行短路电流计算时,应先对各电气设备的参数(电阻或电抗)进行计算。如果各种电气设备的电阻和电抗及其他电气参数用有名值(即有单位的值)表示,称为有名值法;如果各种电气设备的电阻和电抗及其他电气参数用相对值表示,称为标幺值法;如果各种电气设备的电阻和电抗及其他电气参数用短路容量表示,称为短路容量法。

在低压系统中,短路电流计算通常有名值法,简单明了。而在高压系统中,通常采用标幺值法或短路容量法计算。这是由于高压系统中存在多级变压器耦合,如果用有名值法,当短路点不同时,同一元件所表现的阻抗值就不同,必须对不同电压等级中各元件的阻抗值按变压器的变化比归算到同一电压等级,使短路计算的工作量增加。

(1) 用有名值方法进行短路计算的步骤归纳为绘制短路回路等效电路;计算短路回路中各元件的阻抗值;求等效阻抗,化简电路;计算三相短路电流周期分量有效值及其他短路参数;列短路计算表。

(2) 用标幺值方法进行短路计算的步骤归纳为选择基准容量、基准电压、计算短路点的基准电流;绘制短路回路的等效电路;计算短路回路中各元件的电抗标幺值;求总电抗标幺值,化简短路;计算三相短路电流周期分量有效值及其他短路参数;列短路计算表。

#### 1. 短路电流的计算概述

进行短路电流计算,首先要绘出计算电路图,如图6-6所示。

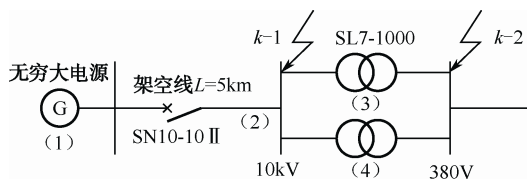


图 6-6 短路计算电路示意图

在计算电路图上,将短路计算所需考虑的各元件额定参数表上在图上,并将各元件依次编号,然后确定短路计算点,短路计算要选择得使需要进行短路校验的电气元件有最大可能的短路电流通过。接下来要按所选择的短路计算点绘出等效电路图,如图6-7所示。

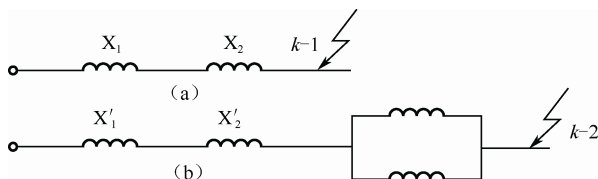


图 6-7 短路等效电路示意图

计算等效电路中各主要元件的阻抗。在等效电路图上，只需将计算的短路电流所流经的一些主要元件表示出来，并标明其序号和阻抗值，一般分子标序号，分母标阻抗值，既有电阻又有电抗时，用复数形式表示，然后将等效电路化简。对于工厂供电系统来说，由于将电力系统当作无限大容量电源，而且短路电路也比较简单，因此，一般只需采用阻抗串、并联的方法即可将电路化简，求出等效总阻抗，最后计算短路电流和短路容量。

短路计算中有关物理量一般采用下列单位。电流单位为 kA；电压单位为 kV；短路容量和断流容量单位为 MV·A；设备容量单位为 kW 或 kV·A；阻抗单位为  $\Omega$  等。如果采用工程上常用单位来计算，则应注意所用公式中各物理量单位的换算系数。

## 2. 采用有名值法进行短路计算

因其短路计算中的阻抗都采用单位欧姆。在无限大容量系统中发生三相短路时，其三相短路电流周期分量有效值可按下式计算，即

$$I_k^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}|Z_\Sigma|} = \frac{U_c}{\sqrt{3}\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} \quad (6-46)$$

式中  $U_c$ ——短路点的短路计算电压，又称平均额定电压。

由于线路首端短路时其短路最为严重，因此，按线路首端电压考虑，即计算电压为  $1.05U_N$ 。

在高电压的短路计算中，通常总电抗远比总电阻大，所以一般只计算电抗，不计算电阻。在计算低压侧短路时，只有当短路电路的电阻大于电抗 1/3 时才需考虑电阻。

如果不计电阻，则三相短路电流的周期分量有效值为

$$I_k^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}X_\Sigma} \quad (6-47)$$

三相短路容量为

$$S_k^{(3)} = \sqrt{3}U_c I_k^{(3)} \quad (6-48)$$

### 1) 电力系统的阻抗

电力系统的电阻相对于电抗来说很小，一般不予考虑。电力系统的电抗，可由电力系统变电所高压馈电线出口断路器的断流容量  $S_{oc}$  来估算， $S_{oc}$  可看作是电力系统的极限短路容量  $S_k$ ，因此，电力系统的电抗为

$$X_s = U_c^2 / S_{oc} \quad (6-49)$$

式中  $U_c$  为高压高压馈电线的短路计算电压，但为了便于短路电流总阻抗的计算，免去阻抗换算的麻烦，此式中， $U_c$  的可直接采用短路点短路计算电压； $S_{oc}$  是系统出口断路器的断流容量，可查相关手册；如只有开断电流  $I_{oc}$  数据，则其断流容量为

$$S_{oc} = \sqrt{3}I_{oc}U_N \quad (6-50)$$

式中  $U_N$ ——额定电压。

### 2) 电力变压器的阻抗

(1) 变压器的电阻  $R_T$ 。可由变压器的短路损耗  $\Delta P_k$  近似地计算。

因

$$\Delta P_k \approx 3I_N^2 R_T \approx 3(S_N / \sqrt{3}U_c)^2 R_T \approx (S_N / U_c)^2 R_T$$

故

$$R_T \approx \Delta P_k (U_c / S_N)^2 \quad (6-51)$$

式中  $U_c$ ——短路点的短路计算电压；

$S_N$ ——变压器的额定容量；

$\Delta P_k$ ——变压器的短路损耗；可查相关手册或产品样本。

(2) 变压器的电抗  $X_T$ 。可由变压器的短路电压（又称阻抗电压）百分值  $U_k\%$  近似地计算。

因

$$U_k\% \approx (\sqrt{3}I_N X_T / U_c) \times 100\% \approx (S_N X_T / U_c^2) \times 100\%$$

故

$$X_T \approx \frac{U_k\% U_c^2}{S_N} \quad (6-52)$$

式中  $U_k\%$ ——变压器的短路电压（阻抗电压  $U_z\%$ ）百分值，可查相关手册或产品样本。

3) 电力线路的阻抗

(1) 线路的电阻  $R_{WL}$ 。可由导线电缆的单位长度电阻值  $R_0$  求得，即

$$R_{WL} = R_0 l \quad (6-53)$$

式中  $R_0$ ——导线电缆单位长度的电阻，可查有关手册或产品样本；

$l$ ——线路长度。

(2) 线路的电抗  $X_{WL}$ 。可由导线电缆的单位长度电抗值  $X_0$  求得，即

$$X_{WL} = X_0 l \quad (6-54)$$

式中  $X_0$ ——导线电缆单位长度的电抗，可查有关手册或产品样本；

$l$ ——线路长度。

如果线路的结构数据不详细时， $X_0$  可按表 6-10 取其电抗平均值，因为同一电压的同类线路电抗值变动幅度一般不大。

表 6-10 电力线路每相的单位长度电抗平均值 ( $\Omega/\text{km}$ )

线 路 结 构	线 路 电 压		
	35kV	6~10kV	220/380V
架空线路	0.40	0.35	0.32
电缆线路	0.12	0.08	0.066

求出短路电路中各元件的阻抗后，简化了短路电路，求出其总阻抗，然后计算短路电流周期分量  $I_k^{(3)}$ 。

必须注意：在计算短路电路的阻抗时，假设电路内含有电力变压器，则电路内各元件的阻抗都应统一换算到短路点的短路计算电压。阻抗等效换算的条件是元件的功率损耗不变。即由  $\Delta P = U^2 / R$  和  $\Delta Q = U^2 / X$  可知，元件的阻抗与电压的平方成正比，因此，阻抗换算的公式为

$$R' = R(U_c' / U_c)^2 \quad (6-55)$$

$$X' = X(U_c' / U_c)^2 \quad (6-56)$$

式中  $R$ 、 $X$  和  $U_c$ ——换算前元件的电阻、电抗和元件所在处的短路计算电压；

$R'$ 、 $X'$  和  $U_c'$ ——换算后元件的电阻、电抗和短路点的短路计算电压。

例 6-8 某工厂供电系统如图 6-8 所示。已知电力系统出口断路器为 SN10-10 II 型。试求

工厂变电所高压 110kV 母线上  $k-1$  点短路和低压 380V 母线上  $k-2$  点短路的三相短路电流和短路容量。

**解：**(1) 求  $k-1$  点三相短路电流和短路容量 ( $U_{cl} = 10.5\text{kV}$ )。

① 计算短路电路中各元件的电抗及总电抗。

电力系统的电抗  $X_1$ ：由附表 1 查得 SN10-10 II 型的断流容量  $S_{oc} = 500\text{MV} \cdot \text{A}$ ，则

$$X_1 = U_{cl}^2 / S_{oc} = (10.5\text{kV})^2 / 500\text{MV} \cdot \text{A} = 0.22\Omega$$

架空线路的电抗  $X_2$ ：由表 6-10 得  $X_0 = 0.35$ ，则

$$X_2 = X_0 l = 0.35 (\Omega/\text{km}) \times 5\text{km} = 1.75\Omega$$

绘制  $k-1$  点短路的等效电路，如图 6-10 所示，图上标出各元件的序号（分子）和电抗值（分母），并计算其总阻抗为

$$X_{\Sigma(k-1)} = X_1 + X_2 = 0.22\Omega + 1.75\Omega = 1.97\Omega$$

② 计算三相短路电流和短路容量。

三相短路电流周期分量有效值为

$$I_{k-1}^{(3)} = \frac{U_{cl}}{\sqrt{3}X_{\Sigma(k-1)}} = \frac{10.5\text{kV}}{\sqrt{3} \times 1.97\Omega} = 3.08\text{kA}$$

三相短路次暂态电流和稳态电流为

$$I'^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-1}^{(3)} = 3.08\text{kA}$$

三相短路冲击电流及第一周期短路全电流有效值为

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55I'^{(3)} = 2.55 \times 3.08\text{kA} = 7.08\text{kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.51I'^{(3)} = 1.51 \times 3.08\text{kA} = 4.65\text{kA}$$

三相短路容量为

$$S_{k-1}^{(3)} = \sqrt{3}U_{cl}I_{k-1}^{(3)} = \sqrt{3} \times 10.5\text{kV} \times 3.08\text{kA} = 56.0\text{MV} \cdot \text{A}$$

(2) 求  $k-2$  点的三相短路电流和短路容量 ( $U_{c2} = 0.4\text{kV}$ )。

① 计算短路电路中各元件的电抗及总电抗。

电力系统的电抗  $X'_1$ ：  $X'_1 = \frac{U_{c2}^2}{S_{oc}} = \frac{(0.4\text{kV})^2}{500\text{MV} \cdot \text{A}} = 3.2 \times 10^{-4}\Omega$

架空线路的电抗  $X'_2$ ：  $X'_2 = X_0 l \left( \frac{U_{c2}}{U_{cl}} \right)^2 = 0.35 \times 5 \times \left( \frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 2.54 \times 10^{-3}\Omega$

电力变压器的电抗  $X_3$ ：由相关手册查得低损耗电力变压器的技术数据  $U_k\% = 5\%$ ，因此，

$$X_3 = X_4 \approx \frac{U_k\% U_c^2}{S_N} = 0.05 \times \frac{(0.4\text{kV})^2}{1000\text{kV} \cdot \text{A}} = 8 \times 10^{-3}\Omega$$

绘制  $k-2$  点短路的等效电路，如图 6-8 所示，并计算其总电阻为

$$\begin{aligned} X_{\Sigma(k-2)} &= X_1 + X_2 + X_3 // X_4 = X_1 + X_2 + \frac{X_3 X_4}{X_3 + X_4} = 3.2 \times 10^{-4} + 2.54 \times 10^{-3} + \frac{8 \times 10^{-3}}{2} \\ &= 6.86 \times 10^{-3}\Omega \end{aligned}$$

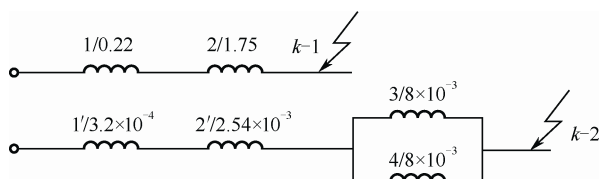


图 6-8 例 6-8 的短路等效电路图

② 计算三相短路电流和短路容量。

三相短路电流周期分量有效值为

$$I_{k-2}^{(3)} = \frac{U_{c2}}{\sqrt{3}X_{\Sigma(k-2)}} = \frac{0.4\text{kV}}{\sqrt{3} \times 36.86 \times 10^{-3} \Omega} = 33.7\text{kA}$$

三相短路次暂态电流和稳态电流为

$$I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = 33.7\text{kA}$$

三相短路冲击电流及第一个周期短路全电流有效值为

$$i_{sh}^{(3)} = 1.84I''^{(3)} = 1.84 \times 33.7\text{kA} = 62.0\text{kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.09I''^{(3)} = 1.09 \times 33.7\text{kA} = 36.7\text{kA}$$

三相短路容量为

$$S_{k-2}^{(3)} = \sqrt{3}U_{c2}I_{k-2}^{(3)} = \sqrt{3} \times 0.4\text{kV} \times 33.7\text{kA} = 23.3\text{MV} \cdot \text{A}$$

在工程设计说明书中，往往只列出短路计算表，见表 6-11。

表 6-11 例 6-8 的短路计算表

短路计算点	三相短路电流/kA					三相短路容量/MV·A
	$I_k^{(3)}$	$I''^{(3)}$	$I_{\infty}^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$S_k^{(3)}$
k-1	3.08	3.08	3.08	7.85	4.65	56.0
k-2	33.7	33.7	33.7	62.0	36.7	23.3

### 3. 采用标幺值法进行短路计算

标幺值法又称为相对单位值法，因其短路计算中的有关物理量是采用标幺值而得名。任一物理量的标幺值  $A_d^*$ ，为该物理量的实际值与所选定标准值的比值  $A_d$ ，即

$$A_d^* = A/A_d \quad (6-57)$$

按标幺值法进行短路计算时，一般是先选定基准容量  $S_d$  和基准电压  $U_d$ 。

基准容量，工程设计中通常取  $S_d = 100\text{MV} \cdot \text{A}$ 。

基准电压，通常取元件所在处的短路计算电压，即取  $U_d = U_c$ 。

选定基准容量  $S_d$  和基准电压  $U_d$  之后，基准电流  $I_d$  按下式计算，即

$$I_d = S_d / \sqrt{3}U_d = S_d / \sqrt{3}U_c \quad (6-58)$$

基准电抗按下式计算，即

$$X_d = U_d / \sqrt{3}I_d = U_c^2 / S_d \quad (6-59)$$

下面分别讲述供电系统中各主要元件的电抗标幺值的计算(取  $S_d = 100\text{MV} \cdot \text{A}$ ， $U_d = U_c$ )。

(1) 电力系统的电抗标幺值计算, 即

$$X_s^* = \frac{X_s}{X_d} = \frac{U_c^2 / S_{oc}}{U_c^2 / S_d} = \frac{S_d}{S_{oc}} \quad (6-60)$$

(2) 电力变压器的电抗标幺值计算, 即

$$X_T^* = \frac{X_T}{X_d} = \frac{U_k \% U_c^2 / S_N}{100 U_c^2 / S_d} = \frac{U_k \% S_d}{100 S_N} \quad (6-61)$$

(3) 电力线路的标幺值计算, 即

$$X_{WL}^* = \frac{X_{WL}}{X_d} = \frac{X_0 L}{U_c^2 / S_d} = X_0 L \frac{S_d}{U_c^2} \quad (6-62)$$

短路电路中各主要元件的电抗标幺值求出以后, 即可利用其等效电路图进行电路化简, 求出其总电抗标幺值  $X_\Sigma^*$ 。由于各元件电抗均采用相对值, 与短路计算点的电压无关, 因此, 电抗标幺值无需进行电压换算, 这也是标幺值法较之欧姆法优越之处。

无限大容量系统三相短路电流周期分量有效值的标幺值按下式计算。

$$I_k^{(3)*} = \frac{I_k^{(3)}}{I_d} = \frac{U_c / \sqrt{3} X_\Sigma}{S_d / \sqrt{3} U_c} = \frac{U_c^2}{S_d X_\Sigma} = \frac{1}{X_\Sigma^*} \quad (6-63)$$

由此可以求得三相短路电流周期分量有效值为

$$I_k^{(3)} = I_k^{(3)*} I_d = I_d / X_\Sigma^* \quad (6-64)$$

求得  $I_k^{(3)}$  后, 即可求出  $I'^{(3)}$ 、 $I_\infty^{(3)}$ 、 $i_{sh}^{(30)}$  和  $I_{sh}^{(3)}$  等。

三相短路容量的计算公式为  $S_k^{(3)} = \sqrt{3} U_c I_k^{(3)} = \sqrt{3} U_c I_d / X_\Sigma^*$  (6-65)

**例 6-9** 试用标幺值法计算例 6-8 所示工厂供电系统中,  $k-1$  点和  $k-2$  点的三相短路电流和短路容量。

**解:** (1) 确定基准值。取  $S_d = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ,  $U_{c1} = 10.5 \text{ kV}$ ,  $U_{c2} = 0.4 \text{ kV}$

而

$$I_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{c1}} = \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 10.5} = 5.50 \text{ kA}$$

$$I_{d2} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{c2}} = \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 0.4 \text{ kV}} = 144 \text{ kA}$$

(2) 计算短路电路中各主要元件的电抗标幺值。

① 电力系统的电抗标幺值。由附表 1 查得  $S_{oc} = 500 \text{ MV} \cdot \text{A}$ , 则

$$X_1^* = \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{500 \text{ MV} \cdot \text{A}} = 0.2$$

② 架空线路的电抗标幺值。由表 6-10 查得  $X_0 = 0.35 \Omega/\text{km}$ , 则

$$X_2^* = 0.35 (\Omega/\text{km}) \times 5 \text{ km} \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{(10.5 \text{ kV})} = 1.59$$

③ 电力变压器的电抗标幺值。由附表 2 查得  $U_k \% = 5\%$ , 则

$$X_3^* = X_4^* = \frac{5 \times 100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{100 \times 1000 \text{ kV} \cdot \text{A}} = \frac{5 \times 100 \times 1000 \text{ kV} \cdot \text{A}}{100 \times 1000 \text{ kV} \cdot \text{A}} = 5.0$$

绘制短路等效电路图如图 6-9 所示, 图上标出各元件序号和电抗标幺值, 并标明短路计算点。

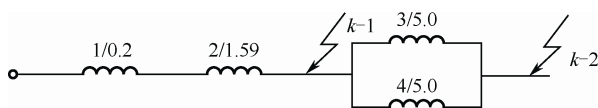


图 6-9 例 6-10 的短路等效电路图(标幺值法)

(3) 计算  $k-1$  点的短路电路总电抗标幺值及三相短路电流和短路容量。

① 总电抗标幺值为

$$X_{\Sigma(k-1)}^* = X_1^* + X_2^* = 0.2 + 1.59 = 1.79$$

② 三相短路电流周期分量有效值为

$$I_{k-1}^{(3)} = \frac{I_{d1}}{X_{\Sigma(k-1)}^*} = \frac{5.50 \text{ kA}}{1.79} = 3.07 \text{ kA}$$

③ 其他三相短路电流为

$$I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-1}^{(3)} = 3.07 \text{ kA}$$

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55 \times 3.07 \text{ kA} = 7.83 \text{ kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.51 \times 3.07 \text{ kA} = 4.64 \text{ kA}$$

④ 三相短路容量为

$$S_{k-1}^{(3)} = \frac{S_d}{X_{\Sigma(k-1)}^*} = \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{1.79} = 55.9 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

(4) 计算  $k-2$  点的短路电路总电抗标幺值及三相短路电流和短路容量。

① 总电抗标幺值为

$$X_{\Sigma(k-2)}^* = X_1^* + X_2^* + X_3^* // X_4^* = 0.2 + 1.59 + 5/2 = 4.29$$

② 三相短路电流周期分量有效值为

$$I_{k-2}^{(3)} = \frac{I_{d2}}{X_{\Sigma(k-2)}^*} = \frac{144 \text{ kA}}{4.29} = 33.6 \text{ kA}$$

③ 其他三相短路电流为

$$I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = 33.6 \text{ kA}$$

$$i_{sh}^{(3)} = 1.84 \times 33.6 \text{ kA} = 61.8 \text{ kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.09 \times 33.6 \text{ kA} = 36.6 \text{ kA}$$

④ 三相短路容量为

$$S_{k-2}^{(3)} = \frac{S_d}{X_{\Sigma(k-2)}^*} = \frac{100 \text{ MV} \cdot \text{A}}{4.29} = 23.3 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

由此可见, 采用标幺值法的计算结果与欧姆法计算的结果基本相同。

#### 4. 两相短路电流的计算

在如图 6-10 所示无限容量系统中发生两相短路时, 其短路电流可由下式求得

$$I_k^{(2)} = \frac{U_c}{2|Z_{\Sigma}|} \quad (6-66)$$

式中  $U_c$ ——短路点的计算电压(线电压)。

如果只计算电抗, 则短路电流为



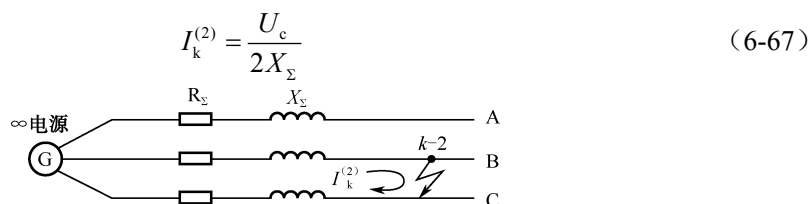


图 6-10 无穷大容量系统中的两相短路

$$\text{由 } I_k^{(2)} = \frac{U_c}{2|Z_\Sigma|}, I_k^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}|Z_\Sigma|} \text{ 求得}$$

$$I_k^{(2)}/I_k^{(3)} = \sqrt{3}/2 = 0.866$$

因此

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 0.866 I_k^{(3)} \quad (6-68)$$

上式说明, 无限大容量系统中, 同一地点的两相短路电流为三相短路电流的 0.866 倍。因此, 无限大容量系统中的两相短路电流, 可在求出三相短路电流后再按上式直接求得。

### 5. 单相短路电流的计算

在工程设计中, 可利用下式计算单相短路电流, 即

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{|Z_{\phi-1}|} \quad (6-69)$$

式中  $U_\phi$  ——电源相电压;

$|Z_{\phi-1}|$  ——单相短路回路的阻抗[模]。

## 实操训练 19 短路电流的计算

供电系统设计方案中短路电流计算的项目内容如下:

- (1) 画出设计方案中供电系统的等效电路。
- (2) 用标幺值法计算等效电路中各元件的等效电抗。
- (3) 在等效电路中确定短路点。
- (4) 计算变压器高压侧短路发生三相短路时的短路电流。
- (5) 计算变压器低压侧短路发生三相短路时的短路电流。
- (6) 计算各支路中流过的最大电路电流。

### 6.3.3 问题与思考

1. 短路故障的原因有哪些? 有哪几种短路形式? 它们各自的特点是什么?
2. 某供电系统如图 6-11 所示。试求工厂配电所 10kV 母线上 k-1 点短路和车间变电所电压 380V 母线上 k-2 点短路的三相短路电流和短路容量。

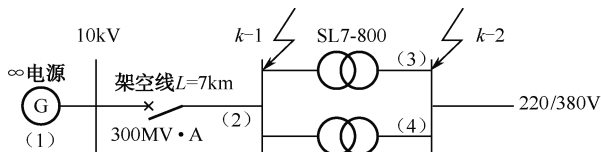


图 6-11 短路计算电路示意图

## 3. 短路电流计算的目的是什么？

## 任务4 供配电系统电气设备的选择与校验

## 【任务概述】

电气设备按正常工作条件进行选择，就是要考虑电气设备装设的环境条件和电气要求。环境条件是指电气设备所处的位置（户内还是户外）、环境温度、海拔高度，以及无防尘、防腐、防火、防爆等要求；电气要求是指电气设备对电压、电流、频率等方面的要求，对开关类电气设备还应考虑其断流能力。

## 【知识链接】

## 6.4.1 电气设备选择校验的条件

电气设备按短路故障条件进行校验，就是要按最大可能的短路电流校验设备的动、热稳定度，以保证电气设备在短路故障时不致损坏。电气一次设备的选择校验项目及条件见表6-12。

表 6-12 高、低压电气设备选择校验的项目及条件

电气设备名称	正常工作条件选择			短路电流校验	
	电压/kV	电流/A	断流能力/kA	动 稳 定 度	热 稳 定 度
高、低压熔断器	○	○	○	×	×
高压隔离开关	○	○	×	○	○
低压刀开关	×	○	○	—	—
高压负荷开关	○	○	○	○	○
低压负荷开关	○	○	○	×	×
高压断路器	○	○	○	○	○
低压断路器	○	○	○	—	—
电流互感器	○	○	×	○	○
电压互感器	○	×	×	×	×
电容器	○	×	×	×	×
母线	×	○	×	○	○
电缆、绝缘导线	○	○	×	×	○
支柱绝缘子	○	×	×	○	×
套管绝缘子	○	○	×	○	○
选择校验的条件	电气设备的额定电压应大于安装地点的额定电压	电气设备的额定电流应大于通过设备的计算电流	开关设备的断开电流或功率应大于设备安装地点可能的最大断开电流或功率	按三相短路冲击电流值校验	按三相短路稳态电流值校验

注：1. 表中“○”表示必须校验；“×”表示不必校验；“—”表示可以不校验。

2. 选择变电所高压侧的电气设备时，应取变压器高压侧额定电流。

3. 对高压负荷开关，最大断开电流应大于它可能断开的最大负荷电流；对高压断路器，其断开电流或功率应大于设备安装地点可能的最大短路电流周期分量或功率。

## 6.4.2 电气设备的选择和校验

### 1. 短路动稳定度的校验条件

(1) 一般电器的动稳定度校验条件需按下列公式校验, 即

$$i_{\max} \geq i_{\text{sh}}^{(3)} \text{ 或 } I_{\max} \geq I_{\text{sh}}^{(3)} \quad (6-70)$$

式中  $i_{\max}$  和  $I_{\max}$  ——分别为动稳定电流的峰值和有效值, 可由有关手册或产品样本中查出。

(2) 绝缘子的动稳定度校验条件, 即

$$F_{\text{al}} \geq F_{\text{c}}^{(3)} \quad (6-71)$$

式中  $F_{\text{al}}$  ——绝缘子的允许载荷, 可由有关手册或产品样本中查出;

$F_{\text{c}}^{(3)}$  ——三相短路电流作用在绝缘子上的计算力; 如果母线在绝缘子上平放, 则

$$F_{\text{c}}^{(3)} = F^{(3)}, \text{ 竖放则 } F_{\text{c}}^{(3)} = 1.4F^{(3)}, \text{ 而 } F^{(3)} = \sqrt{3}i_{\text{sh}}^{(3)2} \frac{L}{a} \times 10^{-7} \text{ (N/A}^2\text{)};$$

$a$  ——两母线轴线间的距离;

$L$  ——导体的两相邻支撑点间的距离。

(3) 硬母线的动稳定度校验条件。

按  $\sigma_{\text{al}} \geq \sigma_{\text{c}}$  校验, 其中,  $\sigma_{\text{al}}$  是母线材料的最大允许应力。硬铜母线 TMY  $\sigma_{\text{al}} = 140\text{MPa}$ , 硬铝母线 LMY 的  $\sigma_{\text{al}} = 70\text{MPa}$ ,  $\sigma_{\text{c}}$  为母线通过  $i_{\text{sh}}^{(3)}$  时, 所受到的最大计算应力, 按下式计算, 即

$$\sigma_{\text{c}} = M/W \quad (6-72)$$

式中  $M$  ——母线通过  $i_{\text{sh}}^{(3)}$  时, 所受到的弯曲力矩。

当母线挡距数为 1~2 时,  $M = F^{(3)}L/8$ ; 当母线挡数大于 2 时,  $M = F^{(3)}L/10$ ,  $L$  为母线的挡距;  $W$  为母线的截面系数。当母线水平放置时,  $W = b^2h/6$ ; 其中,  $b$  为母线截面的水平宽度,  $h$  为母线截面的垂直高度。

### 2. 短路热稳定度的校验条件

(1) 一般电器的热稳定度校验条件为

$$I_{\text{t}}^2 t \geq I_{\infty}^{(3)2} t_{\text{ima}} \quad (6-73)$$

式中  $I_{\text{t}}$  ——实际短路时间;

$t$  ——该设备的热稳定试验时间, 两者均可在有关手册或产品样本中查出。

$t_{\text{ima}}$  为短路发热的假想时间, 可由下式近似计算, 即

$$t_{\text{ima}} = t_{\text{k}} + 0.05\text{s} \quad (6-74)$$

式中  $t_{\text{k}}$  ——实际短路时间, 它是短路保护装置实际最长的动作时间  $t_{\text{op}}$  与断路器或开关的断开时间  $t_{\text{oc}}$  之和, 即

$$t_{\text{k}} = t_{\text{op}} + t_{\text{oc}}$$

对于一般高压油断路器, 可取  $t_{\text{oc}} = 0.2\text{s}$ ; 对于真空断路器可取  $t_{\text{oc}} = 0.1 \sim 0.15\text{s}$ 。

(2) 母线及绝缘导线和电缆等导体的热稳定度校验条件, 即

$$A_{\min} = I_{\infty}^{(3)} \frac{\sqrt{t_{\text{ima}}}}{C}$$

式中  $I_{\infty}^{(3)}$  ——三相短路稳态电流;

$C$  ——导体的热稳定系数, 可由导体的热稳定系数表中查出, 铜母线为 171, 铝母线为 87 等。

### 3. 高压开关设备的选择与校验

高压开关设备的选择与校验，主要是指对高压断路器、高压隔离开关、高压负荷开关的选择与校验。下面通过例题介绍高压断路器选择与校验的具体方法，其余高压开关设备可参照进行。

**例 6-10** 试选择如图 6-12 所示电路中高压断路器的型号和规格。已知 10kV 侧母线短路电流为 5.3kA，控制 QF 的线路继电器保护装置实际装置最长的动作时间为 1.0s。

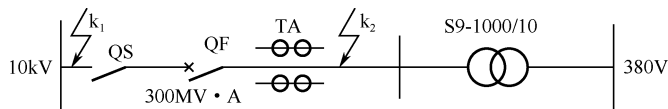


图 6-12 例 6-10 题电路图

**解：**变压器高压侧最大工作电流应按变压器的额定电流计算，即

$$I_{30} = I_{\text{INT}} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = \frac{1000}{1.732 \times 10} \approx 57.7 \text{ kA}$$

线路首端电路时，流过断路器的短路电流最大，而线路首端  $k_1$  点短路与母线  $k_2$  点短路，其短路电流相等，即短路电流冲击值

$$i_{\text{sh}} = 2.55I'' = 2.55 \times 5.3 \approx 13.5 \text{ kA}$$

短路容量，即

$$S_k = \sqrt{3}I_k U_c = 1.732 \times 5.3 \times 10 \approx 91.8 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

选用高压真空断路器，断路时间  $t_{\text{oc}} = 0.1 \text{ s}$ 。故短路假想时间为

$$t_{\text{ima}} = t_k = t_{\text{op}} + t_{\text{oc}} = 1.0 + 0.1 = 1.1 \text{ s}$$

根据选择条件和相关数据，可选用 ZN3-10I/630 型高压真空断路器，其技术数据可由相关手册查出。高压断路器选择和校验结果见表 6-13。

表 6-13 高压断路器选择和校验结果

序 号	安装处的电气条件		短路电流校验		
	项 目	数 据	项 目	技 术 数 据	结 论
1	$U_N$	10kV	$U_N$	10kV	合格
2	$I_{30}$	57.7A	$I_N$	630A	合格
3	$I_k^{(3)}$	5.3kA	$I_{\text{oc}}$	16kA	合格
4	$I_{\text{sh}}^{(3)}$	13.5kA	$I_{\text{max}}$	40kA	合格

由校验结果可知，所选高压真空断路器满足要求。

另外，高压开关柜和低压配电屏的选择，应满足变配电所一次电路供电方案的要求，依据技术经济指标，选择合适的型式及一次线路方案编号，并确定其中所有一、二次设备的型号和规格。在向开关电器厂订购设备时，应注意向厂家索要一、二次电路图纸及有关技术资料。

### 4. 低压开关设备的选择与校验

低压一次设备的选择，与高压一次设备的选择一样，必须满足在正常条件下和短路故障条件下工作的要求，同时设备应工作安全可靠、运行维护方便，投资经济合理。低压一次设备的选择校验项目及条件可参照表 6-13。

低压开关设备的选择与校验，主要是指对低压断路器、低压刀开关、低压熔断器，以及低压负荷开关的选择与校验。本部分只重点介绍低压断路器的选择、整定与校验。

低压断路器与高压断路器不同，高压断路器自动跳闸要靠继电保护或自动装置控制其操作机构完成，选择高压断路器无需考虑保护整定计算等问题；而低压断路器结构本身具有保护自动跳闸的功能，因此，低压断路器的选择不仅要满足选择电气设备的一般条件，而且还要满足正确实现过电流、过负荷及失压等保护功能的要求。并且还应考虑是否选择电动跳、合闸操作机构。低压断路器各种保护功能也应同继电保护装置一样，必须满足选择性、迅速性、灵敏性和可靠性等四个基本要求。

在变压器低压侧一般都装设低压断路器，且大多配置电动跳、合闸操作机构；在低压配电线上多数都选择低压断路器，一般不配置电动合闸操作机构；对容量较大的单个用电设备，往往采用低压断路器控制。

#### 1) 低压断路器过电流脱扣器的选择、整定与校验

(1) 低压断路器过电流脱扣器的选择过流脱扣器的额定电流应大于或等于线路的计算电流，即

$$I_N \geq I_{30}$$

(2) 低压断路器过流脱扣器的整定。

① 断路器瞬时动作时，其动作电流应躲过本线路的尖峰电流，即

$$I_{op(o)} \geq K_{rel} I_{pk} \quad (6-75)$$

式中  $K_{rel}$ ——可靠系数。

对动作时间在 0.02s 以上的 DW 系列断路器可取 1.35；对动作时间在 0.02s 及以下的 DZ 系列断路器宜取 2~2.5。

断路器动作时间越短，越不易防止尖峰电流使其动作，所以，可靠系数越要取大。

② 短延时过流脱扣器动作电流和时间的整定应使过流脱扣器的动作电流  $I_{op(s)}$  躲过线路短时间出现的负荷尖峰电流  $I_{pk}$ ，即

$$I_{op(s)} \geq K_{rel} I_{pk} \quad (6-76)$$

式中  $K_{rel}$ ——可靠系数，取 1.2。

过流脱扣器的动作时间是指动作时间是指从流流过流脱扣器电流大于其整定的动作电流开始计时，至脱扣器脱扣的延时时间。短延时过流脱扣器的动作时间分为 0.2s、0.4s 及 0.6s 三级，通常要求前一级保护的動作时间比后一级保护的動作时间长一个时间级差 0.2s，以满足前后级保护选择性配合的要求。前后级保护配合的选择性要求还表现在前后级保护动作电流的差异上。

③ 长延时过流脱扣器动作电流和时间的整定，一般用作过负荷保护，其动作电流只需躲过线路的计算电流  $I_{30}$ ，即

$$I_{op(l)} \geq K_{rel} I_{30} \quad (6-77)$$

式中  $K_{rel}$ ——可靠系数，取 1.1。

长延时过流脱扣器的动作电流应躲过线路过负荷的持续时间，其动作特性通常为反时限，即过负荷电流越大，动作时间越短，一般动作时间为 1~2h。

④ 过流脱扣器与被保护线路配合，允许绝缘导线或电缆短时过负荷，过负荷越严重允许

运行的时间越短。反之,过电流保护的動作时间越短,过电流保护的動作电流允许整定的越大;動作时间越长,動作电流整定的越小。只有这样,当线路过负荷或短路时,才能避免绝缘导线或电缆因过热烧毁而低压断路器不会跳闸事故的发生,因此,要求如下:

$$I_{op} \leq K_{ol} I_{al} \quad (6-78)$$

式中  $I_{al}$ ——绝缘导线或的允许载流量;

$K_{ol}$ ——绝缘导线或电缆的允许短时过负荷系数。对瞬时和短延时过流脱扣器取 4.5;对长延时过流脱扣器取 1;对保护有爆炸性气体区域的线路取 0.8。

(3) 低压断路器过电流保护的灵敏度校验。为了保证低压断路器的瞬时或短延时过流脱扣器在系统最小运行方式下,在其保护区内发生最轻微的短路故障时就能可靠地动作,过流脱扣器動作电流的整定值必须满足过电流保护灵敏度的要求。保护灵敏度可按下式进行校验,即

$$K_{sen} = I_{k.min} / I_{op} \geq 1.3 \quad (6-79)$$

式中  $I_{op}$ ——低压断路器瞬时或短延时过流脱扣器的動作电流。

$I_{k.min}$ ——被保护线路末端在系统最小运行方式下的最小短路电流,对 TT、TN 系统取单相接地短路电流;对 IT 系统取两相短路电流。

## 2) 低压断路器热脱扣器的选择与整定

(1) 低压断路器热脱扣器的选择,应使其额定电流大于或等于线路的计算电流。即

$$I_{N.TR} \geq I_{30} \quad (6-80)$$

(2) 热脱扣器用作过负荷保护,其動作电流需大于线路的计算电流,即

$$I_{op.TR} \geq K_{rel} I_{30} \quad (6-81)$$

式中  $K_{rel}$ ——可靠系数,通常取 1.1,但一般应能通过实际测试进行调整。

(3) 低压断路器或熔断器之间的选择性配合。

① 前后级低压断路器之间的选择性配合。低压供电系统中,前后两级低压断路器之间应满足前后级保护选择性配合要求。是否符合选择性,宜按保护特性曲线进行检验。考虑其有  $\pm 20\% \sim \pm 30\%$  的允许偏差范围,即在后级断路器出口发生三相短路时,如果前级断路器保护動作时间在计入负偏差、后级断路器保护動作时间在计入正偏差情况下,前一级的動作时间仍大于后一级的動作时间,则符合实际选择性配合要求。

一般为保证前后两级低压断路器之间能选择性动作,前一级低压断路器宜采用带短延时的过流脱扣器,后一级低压断路器则应采用瞬时过流脱扣器,而且動作电流也是前一级大于后一级,至少前一级的動作电流不小于后一级動作电流的 1.2 倍。对于非重要负荷,保护电器可允许无选择性动作。

② 低压断路器与熔断器之间的选择性配合。低压供电系统,遇有前后级为低压断路器与熔断器时,同样应满足前后级保护选择性配合的要求。要检验低压断路器与熔断器之间是否符合选择性配合,只有通过保护特性曲线。因前一级是低压断路器,可按 30% 的负偏差考虑,而后一级是熔断器,可按 50% 的正偏差考虑。在考虑这种可能出现的情况下,即等效将断路器保护特性曲线向下平移 30%,将熔断器保护特性曲线向上平移 50%。若前一级的曲线总在后一级的曲线之上,则前后两级保护可实现选择性的动作,而且两条曲线之间留有的裕量越大,则动作的选择性越有保证。

(4) 低压断路器型号规格的选择和校验。选择低压断路器应满足如下条件:

① 低压断路器的额定电压应不低于安装处的额定电压。

② 低压断路器的额定电流应不低于它所安装的脱扣器额定电流。

③ 低压断路器的类型应符合安装条件、保护性能的要求, 并应确定操作方式, 即出现在断路器的同时应出现在其操作机构。

④ 低压断路器还应满足安装处对断流能力的要求。

低压断路器必须进行断流能力的校验:

对动作时间在 0.02s 以上的断路器, 其极限分断电流  $I_{oc}$  应小于通过它的最大三相短路电流周期分量有效值, 即

$$I_{oc} \geq I_k^{(3)}$$

对动作时间在 0.02s 以下的断路器, 其极限分断电流  $I_{oc}$  或  $i_{oc}$  应小于通过它的最大三相短路冲击电流  $I_{sh}^{(3)}$  或  $i_{sh}^{(3)}$ , 即

$$I_{oc} \geq I_{sh}^{(3)} \text{ 或 } i_{oc} \geq i_{sh}^{(3)}$$

## 5. 熔断器的选择和校验

在工厂供配电系统中, 熔断器主要用于短路保护, 也可用于过负荷保护。在小容量变压器高压侧, 高压线路常装设 RN1-6、RN3-10、RN5-35、RW4-10 (G)、RW10 (F)-35 等型号熔断器, 用作短路和过负荷保护。RN2-10、RW10-35 等型号熔断器专用于电压互感器作短路保护。对于车间低压配电系统, 应合理配置低压熔断器。熔断器的选择包括其本体选择及其熔体的选择。

### 1) 熔体额定电流的选择

熔断器熔体额定电流  $I_{N,FE}$  应不小于线路的计算电流  $I_{30}$ , 使熔体在线路正常工作时不致熔断, 即

$$I_{N,FE} \geq I_{30}$$

熔体额定电流还应躲过尖峰电流  $I_{pk}$ 。由于尖峰电流持续时间很短, 而熔体发热熔断需要一定的时间。因此, 熔体额定电流应满足下式条件, 即

$$I_{N,FE} \geq K \cdot I_{pk}$$

式中  $K$ ——小于 1 的计算系数, 当熔断器用作单台电动机保护时,  $K$  的取值与熔断器特性及电动机启动情况有关。 $K$  系数的取值范围可参照表 6-14。

表 6-14  $K$  系数的取值范围

线 路 情 况	启 动 时 间	$K$ 值	线 路 情 况	启 动 时 间	$K$ 值
单台电动机	3s 以下	0.25~0.35	多台电动机	按最大一台电动机启动情况	0.5~1
	3~8s (重载启动)	0.35~0.5			
	8s 以上及频繁启动、反接制动	0.5~0.6		$I_{oc}$ 与 $I_p$ 较接近	1

熔断器保护还应考虑与被保护线路配合, 在被保护线路过负荷或短路时能得到可靠的保护, 还应满足下式条件, 即

$$I_{N,FE} \leq K_{ol} I_{al}$$

式中  $I_{al}$ ——绝缘导线和电缆的允许载流量;

$K_{ol}$ ——绝缘导线和电缆的允许短时过负荷系数。

当熔断器作短路保护时,绝缘导线和电缆的过负荷系数取 2.5,明敷导线取 1.5;当熔断器作过负荷保护时,各类导线的过负荷系数取 0.8~1;对有爆炸危险场所的导线过负荷系数取下限值 0.8。熔体额定电流,应同时满足上述几个公式的条件。

## 2) 熔断器断流能力校验

① 对限流式熔断器(如 RT 系列),只需满足条件,即

$$I_{oc} \geq I''^{(3)}$$

② 对非限流式熔断器应满足条件,即

$$I_{oc} \geq I_{sh}^{(3)}$$

## 3) 前后级熔断器的选择性的配合

低压线路中,熔断器较多,前后级间的熔断器在选择性上必须配合,以使靠近故障点的熔断器最先熔断,如图 6-13 所示。根据选择性的要求,当 k 点发生短路时,  $FU_2$  应先熔断,但由于熔断器的特性误差较大,当发  $FU_1$  为负误差(提前动作),  $FU_2$  为正误差(滞后动作),则  $FU_1$  可能比  $FU_2$  先熔断,从而失去选择性。为保证各级熔断器有选择性动作,要求,即

$$t'_1 \geq 3t'_2$$

式中  $t'_1$ —— $FU_1$  的实际熔断时间;

$t'_2$ —— $FU_2$  实际熔断时间。

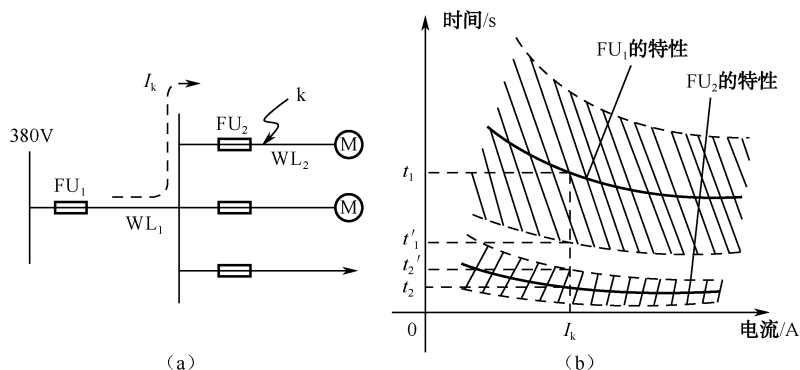


图 6-13 熔断器保护的选择性配合

一般前级熔断器的如图电流应比后一级大 2~3 倍。

## 4) 两种简便快捷的校验方法

(1) 一般只有前一级熔断器的熔体电流大于后一级熔断器的熔体电流 2~3 倍以上,才有可能保证动作的选择性。

(2) 实验结果表明,如果能保证前后两级熔断器之间熔体额定电流之比为 1.5~2.4,就可以保证有选择性动作(熔断)。

## 6. 电流互感器的选择和校验

电流互感器的选择与校验主要有以下几个方面:

- (1) 电流互感器型号的选择。根据安装地点和工作要求选择电流互感器的型号。
- (2) 电流互感器额定电压的选择。电流互感器额定电压应不低于装设点线路额定电压。
- (3) 电流互感器变比选择。电流互感器一次侧额定电流有 20、30、40、50、75、100、150、



200、300、400、600、800、1000、1200、1500、2000 (A) 等多种规格, 二次侧额定电流均为 5A。一般情况下, 计量用的电流互感器变比的选择应使其一次额定电流  $I_{1N}$  不小于线路中的计算电流  $I_{30}$ 。保护用的电流互感器为保证其准确度要求, 可以将变比选得大一些。

#### (4) 电流互感器准确度选择及校验

准确度选择的原则: 计量用的电流互感器的准确度选 0.2~0.5 级, 测量用电流互感器的准确度选 1.0~3.0 级。为了保证准确度误差不超过规定值, 互感器二次侧负荷  $S_2$  应不大于二次侧额定负荷  $S_{2N}$ , 所选准确度才能得到保证。准确度校验公式为

$$S_2 \leq S_{2N} \quad (6-82)$$

二次回路的负荷  $S_2$  取决于二次回路的阻抗  $Z_2$  的值, 即

$$S_2 = I_{2N}^2 |Z_2| \quad (6-83)$$

式中  $I_{2N}$ ——电流互感器二次侧额定电流, 一般取 5A;

$|Z_2|$ ——电流互感器二次回路总阻抗。电流互感器的二次负载阻抗为计算等效阻抗, 并不一定等于二次侧实际测量阻抗。

电流互感器动稳定校验条件为

$$K_{es} \sqrt{2} I_{1N} \geq I_{sh}^{(3)} \quad (6-84)$$

式中  $K_{es}$ ——电流互感器的动稳定倍数。

其热稳定校验条件为

$$K_t I_{1N} \geq I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{ima}} \quad (6-85)$$

式中  $K_t$ ——电流互感器的热稳定倍数。

#### 7. 电压互感器的选择和校验

电压互感器的二次绕组的准确级规定为 0.1、0.2、0.5、1、3 五个级别, 保护用的电压互感器的准确级规定为 3P 级或 6P 级两个级别, 用于小电流接地系统电压互感器 (如三相五芯柱) 的零序绕组准确级规定为 6P 级。

电压互感器的一、二次侧均有熔断器保护, 所以, 不需要校验短路动稳定和热稳定。

电压互感器的象征如下:

- ① 安装设点环境及工作要求选择电压互感器型号。
- ② 电压互感器的额定电压应不低于装设点线路额定电压。
- ③ 按测量仪表对电压互感器准确度要求选择并校验准确度。

计量用电压互感器准确级选 0.5 级以上, 测量用的准确级选 1.0~3.0 级, 保护用的准确级为 3P 级和 6P 级。

为了保证准确度的误差在规定的范围内, 二次侧负荷  $S_2$  应不大于电压互感器二次侧额定容量, 即

$$S_2 \leq S_{2N} \quad (6-86)$$

式中

$$S_2 = [(\Sigma P_u)^2 + (\Sigma Q_u)^2]^{\frac{1}{2}}$$

式中  $\Sigma P_u = \Sigma (S_i \cos \varphi_i)$  和  $\Sigma Q_u = \Sigma (S_i \sin \varphi_i)$ ——分别为仪表、继电器电压线圈消耗在总有功率和总无功功率。

## 实操训练 20 供配电系统设计方案中元件的选择和校验

工厂供配电系统设计方案中各种元件的选择和校验的内容如下。

- (1) 选择架空进线的材料，并确定其截面积大小。
- (2) 选择高压断路器的型号及开断能力。
- (3) 选择高压隔离开关的型号，并校验其热稳定性和动稳定性。
- (4) 选择低压母线的材料、截面形状、布置方式，并校验其热稳定性后动稳定性。
- (5) 选择低压断路器型号，整定其过流脱扣器、热脱扣器和欠压脱扣器的动作值。
- (6) 选择低压隔离开关的型号。
- (7) 配置电压、电流互感器，并选择互感器的型号、连接方式、误差等级。

### 6.4.3 问题与思考

1. 在低压断路器的选择中，为什么过流脱扣器的动作电流要与被保护线路的负荷相配合？
2. 在选择高低压熔断器、高压隔离开关、高压负荷开关、高压断路器及低压刀开关时哪些需校验断流能力？
3. 在熔断器的选择中，为什么熔体的额定电流要与被保护线路相配合？

## 任务 5 电气安全、接地与防雷设计

### 【任务描述】

供配电系统要实现正常运行，首先必须保证其安全性。接地和防雷是电气安全的主要措施。本项目首先学习有关电气安全和电气接地的基本知识，并熟悉电气安全规程，了解雷电的形成和危害，以及供配电系统的接地类型。学习电气接地装置的安装接线技术和接地电阻的测量方法，使学员掌握安装操作规程，学会选择地点和接地线、正确连接接地体和接地线，规范安装接地体和接地带装置。

### 【知识链接】

#### 6.5.1 工厂供配电故障检修的安全技术措施

电对人类造福不浅，但是处理不当也会造成灾祸，小则损坏机器，大则引起人身死亡事故，根据触电事故的统计分析，可以将触电事故的发生原因归纳为 4 个方面，即电气设备安装不合理；电气设备维修不及时；违章作业，不遵守安全工作制度；不懂安全用电常识。所以，对于电的安全知识人人都应掌握。

电气维护及检修的安全技术措施是保证检修人员人身安全、防止发生触电事故的重要措施。在全部停电或部分停电的电气线路或设备上工作，必须完成下列安全技术措施，同时也是操作步骤，即停电→验电→装设接地线→悬挂标示牌→装设遮拦。

## 1. 停电

### 1) 工作点必须停电的线路或设备

- (1) 需要进行检修的设备、线路。
- (2) 与工作人员在进行工作中正常活动范围小于表 6-15 所示的安全距离的设备。

表 6-15 工作人员正常活动范围与带电设备的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m	电压等级/kV	安全距离/m
10 以下	0.35	154	2.00
20~35	0.60	220	3.00
44	0.90	320	4.00
60~110	1.50		

(3) 在 44kV 以下的设备上工作，上述安全距离大于表 6-15 的规定但小于表 6-16 的规定，同时又无安全遮拦措施的设备。

表 6-16 设备不停电的安全距离

电压等级/kV	无遮拦时/m	有遮拦时/m	电压等级/kV	无遮拦时/m	有遮拦时/m
0.4	0.1	0.1	110	1.50	1.00
6~10	0.7	0.35	220	3.00	2.00
20~35	1.00	0.60			

- (4) 带电部分在工作人员后面或两侧无可靠安全措施的设备。

### 2) 停电要求

(1) 停电操作时，要先停负荷侧开关，后停电源侧开关；先停高压侧开关，后停低压侧开关；先断开断路器，后拉开隔离开关；断开断路器时，要先拉开各支路，后拉开主进线断路器。

(2) 有电容设备时，先断开电容器组开关，后断开各出线开关。

(3) 设备要断电检修时，必须将各方面的电源都断开，且各方面至少有一个明显的断开点（如通过隔离开关分断）。为了防止反送电的可能，应将与断电检修设备有关的变压器和电压互感器从高低压两侧均断开。对于柱上变压器等，应将高压熔断器的熔丝管取下。

(4) 断开隔离开关手柄必须锁住，根据需要取下开关控制回路的熔丝管和电压互感器二次侧的熔丝管，放掉空气开关的气体，关闭其进气阀闭锁液压控制系统。

### 3) 线路作业应停电的范围

- (1) 需要检修线路的出线开关及联络开关。
- (2) 可能将电源反送至检修线路的所有开关（如自备发电机的联络开关）。
- (3) 在检修工作范围内的其他带电线路。

## 2. 验电

已经停电的设备或线路可能由于误操作、反送电等原因，会有带电的可能，为确保停电的设备或线路确已停电，防止带电挂地线或作业人员接触带电部位，必须对其进行验电。验电的要求如下：

- (1) 待检修的电气设备或电气线路，在悬挂接地线之前，必须用验电器检验有无电压。

(2) 验电工作应两人进行，一人工作，一人监护。要使用辅助安全用具，如戴绝缘手套、穿绝缘靴。作业人员与带电体要保持规定的安全距离。

(3) 验电时，必须使用电压等级合适、经检验合格、在试验有效期内的验电器。

(4) 高压验电必须穿绝缘靴、戴绝缘手套。35kV 及以上电压等级的电气设备，可使用绝缘验电杆验电，根据绝缘验电杆顶部有无火花和放电声音来判断有无电压。6~10kV 线路要用高压验电器验电，0.5kV 以下线路可用低压验电笔验电。

(5) 线路的验电应逐项进行。联络开关或隔离开关检修时，要在开关两侧均验电。同杆架设的多层电力线路验电时，要先验低压线路，后验高压线路；先验下层线路，后验上层线路。

(6) 表示设备断开的常设信号或标志，表示允许进入间隔的闭锁装置信号，以及接入的电压表和其他无信号指示，只能作为参考，不能作为设备无电的根据。

### 3. 装设接地线

在工作的电力线路或设备上完成停电、验电工作以后，为了防止已停电检修的设备和线路上突然来电或产生感应电压造成人身触电，在检修的设备和线路上应装设临时接地线。

装设接地线的要求如下：

(1) 验电之前，应先准备好接地线，并将接地端与接地网接好。当确定验电设备或线路上无电压后，应立即将检修的设备或线路接地并三相短路。这是防止突然来电或产生感应电压造成各种人员触电的可靠安全技术措施。

(2) 对于可能送电至停电检修的设备或检修线路的各方面（包括线路各支线）及可能产生感应电压的线路都要装设接地线，接地线应装设在各种地点可以看到的地点。工作人员应在接地线的保护范围以内工作。接地线与带电部分的距离符合安全距离的规定。

(3) 如整个检修作业线路能分为电气上不连接的几个部分（如分段母线以开关隔成几段），则各部分要分别装设接地线。接地线与检修作业线路之间不得经过隔离开关、熔断器、断路器等电气设备。

(4) 室内配电装置检修时，接地线应装在装置导电部分规定的地点，这些接地点不应有油漆。所有配电装置的接地点均应设有接地网的接地端子，接地电阻大小必须合格。

(5) 临时接地线导线应使用多股软裸铜绞线，其截面应符合短路电流的要求，但不得小于  $25\text{mm}^2$ 。接地线必须使用专用线卡固定在导体上，严禁使用缠绕的方法进行接地或短路。

(6) 在高压回路上作业，需要拆除部分或全部接地线后才能工作的情况（如测量母线和电缆的绝缘电阻，检查开关触点是否同步开断和接通），需要经特别许可，如下所示：

① 拆除一组接地线。

② 拆除接地线，保留短路线。

③ 拆除全部接地线或拉开全部接地刀闸等。

上述工作必须得到值班员或调度员许可方可进行，工作完毕后立即将接地线恢复。

(7) 每组接地线均应编号，并存放在固定地点。存放位置也应编号，接地线号码与存放位置的号码必须一致。每次装设地线均应做好记录，交接班时要交待清楚。

(8) 接地线必须定期进行检查、试验，合格后方可使用。

### 4. 悬挂标示牌及装设遮栏

在可能送电至工作地点的电气开关上及作业现场均应悬挂标示牌或装设遮栏。标示牌共有七种，其名称、悬挂处及式样见表 6-17。标示牌的颜色要醒目，其作用是提醒警示作业人



员及其他人员不得接近带电体，不得向正在工作的设备或线路送电，指明工作地点，指明接地位置等。严禁工作人员或其他人员在工作中随意移动标示牌，拆除遮拦和接地线。

表 6-17 标示牌名称、悬挂处所与式样

序号	名 称	悬 挂 处 所	式 样	
			尺寸/mm	颜 色
1	禁止合闸，有人工作	一经合闸即可送电到施工设备的开关操作手柄上	200×100 或 80×50	白底红字
2	禁止合闸，线路有人工作	线路开关和隔离开关手柄上	200×100 或 80×50	红底白字
3	在此工作	室外和室内工作地点或施工设备	250×250	绿底白圆圈中黑字
4	止步，高压危险	施工地点临近的带电设备的遮拦上，室外工作地点的围栏上，禁止通行的过道上，高压试验地点，室外架构上，工作地点临近带电设备的横梁上	250×200	白底红边黑字有红色危险标志
5	从此上下	工作人员上下的铁架或梯子上	250×250	绿底白圆圈中黑字
6	禁止攀登，高压危险	工作人员上下的铁架附近，可能上下的其他铁架上运行中的变压器梯子上	250×200	白底红边黑字
7	已接地	悬挂在已接地的隔离开关操作手柄上	240×130	绿底黑字

6.5.2 安全用电与触电急救

电对人类造福不浅，但是处理不当也会造成灾祸，小则损坏机器，大则引起人身伤亡事故，根据触电事故的统计分析，可以将触电事故的发生原因归纳为 4 个方面，即电气设备安装不合理；电气设备维修不及时；违章作业，不遵守安全工作制度；不懂安全用电常识。所以对于电的安全知识人人都应掌握。

1. 触电的原因和危害

电流流过人体就会导致触电。一般对于 50Hz 的工频交流电而言，当流过人体电流大于 0.05A 时，就可能造成触电死亡，这与电流流过人体的途径、部位有关。通过人体电流的大小决定于人体电阻，以及所触及的电压高低。人体的电阻不是固定的，是可以改变的，一般从 600~100000Ω。使人体电阻变化的因素很多，例如，健康状况、神经系统、心理状态、衣服、鞋子、皮肤的干燥程度等。但是由于最小电阻约在 600Ω左右，那么，如果接触到的电压为 60V 时，通过人体的电流就可能达到 0.1A。这就说明只要碰到 60V 电压的线路上，就可能发生触电死亡事故。所以，一般规定 36V 以下为安全电压。

2. 触电的种类和形式

1) 触电的种类

触电事故是因电流流过人体所造成的。人体被电流伤害的情况，按其性质的不同可分为两类：

(1) 电伤。电伤是指电流通过人体外部表皮造成局部伤害。例如，电弧的灼伤，与带电

体接触后皮肤红肿，金属在大电流下溶化、飞溅而使皮肤遭受伤害等。

(2) 电击。电击是指电流流过人体内部器官，对人体心脏及神经系统造成破坏直至死亡。它是最危险的触电事故。因触电而造成死亡事故多数是由电击所致。但在触电事故中，电击和电伤常会同时发生。

电击伤人的程度，要根据流过人体电流的大小，通电时间的长短，电流的途径和频率，以及触电者本身的情况而决定。

### 2) 触电的形式

人体触及带电体有三种不同情况，分别为单线、两线触电及跨步电压触电。

(1) 单线触电。指人站在地上或其他接地体上，而人的某一部位触及带电体，称为单线触电。在我国低压三相四线制中性点接地系统中，单线触电的电压为 220V。

(2) 两线触电。指人体两处同时触及三相 380/220V 系统的两相带电体，加于人体的电压达 380V。

(3) 跨步电压触电。带电体着地时，电流流过周围土壤，产生电压降，人接近着地点时，两脚之间形成跨步电压，其大小决定于离着地点的远近及两脚正对着地点的跨步距离，跨步电压在一定程度上也会引起触电事故。

## 3. 安全措施

为防止人体偶然触电，在一切电气设备中都应该加有保护装置，工作人员要严格遵守安全规则，此外，还应该注意带好一切保护用具。

电气设备的安全保护装置主要有接地和接零两种。

### 1) 保护接地

把电动机、变压器等电气设备的金属外壳用电阻很小的导线与埋在地中的接地装置可靠地连接起来，称为保护接地。

将电气设备不带电金属部分接地的目的，是防止工作人员发生间接触电事故。

### 2) 保护接零

把电气设备的金属外壳接到线路系统的中性点上称为保护接零（又称保护接中线）。接中线（即接零）时，应满足以下要求：

(1) 在同一电网中，不得把一部分电气设备接零，而另一部分电气设备接地。这是因为如果某一接地保护设备的绝缘损坏，并与外壳相连时，会使中性线上出现对地电压，于是，所有接零的设备上都会出现危险电压。

(2) 中线上不得装有熔断器和断路设备，仅允许采用在切断中线时，必须同时切断相线的开关。

(3) 接零的干线（中线）不得小于相线截面的 1/2，支线应不小于相线截面的 1/3。电气设备接中线应以并联方式连接。

(4) 在变电室线路的起点和架空线路的分支处及支线的末端应将零线重复接地，重复接地的接地电阻不大于 10Ω。

### 3) 安全用电

虽然采取上述几种措施来防止触电，但由于工作疏忽或不重视安全用电，有时还可能发生触电事故。因此，在工作中还必须注意以下几点：

(1) 无论何时何地，不能用手来判断接线端或裸导体是否带电。

(2) 换接熔丝时, 首先要切断电源, 切勿带电操作。如确实有必要带电操作, 则应采取安全措施。

(3) 常用的电气设备的金属外壳必须接有专用的接零导线。

(4) 在特殊情况下, 使用安全电压。

(5) 处理好导线带电接头的绝缘。

(6) 操作电器开关、按钮等, 手应保持干燥。

(7) 若遇有人触电时, 应立即切断电源。不可用手直接拉触电者使之脱离电源。

(8) 严格遵守电气设备的安全操作规程。

#### 4. 触电的急救

一旦发生触电事故, 抢救者要保持冷静, 首先应使触电者脱离电源, 然后进行急救。急救的要点是镇静、迅速、得法。

##### 1) 脱离电源

使触电者脱离电源是极其重要的一环, 触电时间越长, 对触电者的伤害就越大。具体作法及应注意的问题如下:

(1) 就近断开电源开关或拔去电源插头。但应注意在切断开关时, 是否会因带负荷拉闸而造成更大的事故。

(2) 如果触电事故点离电源开关太远, 或立即拉开就近电源开关将导致更大的故障, 救护人员可用干燥的衣服、绝缘手套、木棒等绝缘物做工具拉开触电者或挑开电线, 使之脱离电源。

(3) 如触电者抽筋而紧握电线, 可用干燥的木柄斧、电工绝缘钳等将电线一根一根地切断, 并把触电者手握点两头的线均切断。要防止电线断落到别人和自己身上。

(4) 触电者处于较高的位置, 在使触电者脱离电源的同时, 还要采取防摔伤措施。

(5) 触电事故发生在高压设备上, 应通知动力部门停电, 或由从事高压的电工人员, 采用相应电压等级绝缘工具, 使触电者脱离电源。

##### 2) 现场急救

触电者脱离电源后, 应尽快进行现场抢救, 若发现触电者停止呼吸或心脏停止跳动, 决不可认为触电者已死亡而不去抢救, 应立即在现场进行人工呼吸和人工胸外心脏挤压, 并派人通知医院。具体情况如下:

(1) 触电者神志清醒, 只是感到心慌, 四肢发麻无力, 此时, 应使触电者在空气流动的地方静卧休息 1~2h, 让其自己慢慢恢复正常, 并注意观察。

(2) 触电者已失去知觉, 但心脏跳动和呼吸还在进行, 此时, 应使触电者舒适、安静地平卧, 周围不要围挤人群, 解开衣扣以利呼吸。可让触电者闻闻氨气, 摩擦全身使之发热。如果天气寒冷, 应注意保暖。同时迅速通知医院诊治。

(3) 触电者已停止呼吸, 但心脏还在跳动, 应立即进行人工呼吸法(图 6-15); 如停止心跳, 但有呼吸应立即进行胸外挤压法(图 6-16); 如心跳与呼吸均停, 应立即用人工呼吸和胸外挤压法同时进行。以上抢救人员必须认真坚持进行, 直到医生到达之后。

人工呼吸法有仰卧压胸法、俯卧压背法和口对口或口对鼻吹气法等, 这里只介绍简便易行且效果较好的口对口(口对鼻)吹气法。

(1) 首先迅速解开触电者的衣服、裤带、松开上身的紧身衣、胸罩和围巾等, 使其胸部能自由扩张, 不致妨碍呼吸。

(2) 使触电者仰卧，不垫枕头，使头侧向一边，清除其口腔内的血块、假牙及其他异物。如果其舌根下陷，则应将舌头拉出，使气道通畅。如果触电者牙关紧闭，救护人应以双手托住其下颌骨的后角处，大拇指放在下颌骨边缘，用手将下颌骨慢慢向前推移，使下牙移到上牙之前；也可用开口钳、小木片、金属片等，小心地从口角伸入牙缝撬开牙齿，清除口内异物。然后将其头部扳正，使之尽量后仰，鼻孔朝天，使气道畅通。

(3) 救护人位于触电者一侧，用一只手捏紧鼻孔，不使漏气；用另一只手将其下颌拉向前下方，使其嘴巴张开。可在其盖一层纱布，准备对其吹气。

(4) 救护人员深呼吸后，紧贴触电者嘴巴，向他大口吹气，如图 6-14 所示。如果触电者嘴唇不开，则可捏紧其嘴巴，紧贴鼻孔吹气。吹气时要使触电者胸部膨胀。



图 6-14 人工呼吸法

(5) 救护人吹气完毕后换气时，应立即离开触电者的嘴巴（或鼻孔），并放松紧捏鼻（或嘴），让其自由排气，如图 6-14 所示。

按照上述操作要求对触电者反复地吹气、换气，每分钟约 12 次。对幼小儿童施行此法时，鼻子不捏紧，可任其自由漏气，而且吹气不能过猛，以免肺包胀破。

胸外挤压法具体操作步骤如下：

(1) 与上述人工呼吸法的要求一样。首先要解开触电者的衣服、裤带、松开上身的紧身衣、胸罩和围巾等，并清除口腔内异物，使气道畅通。

(2) 使触电者仰卧，姿势与上述人工呼吸法相同，但后背着地处的地面必须平整，如硬地或木板之类。

(3) 救护人位于触电者一侧，最好是跨跪在触电者腰部，两手相叠（对儿童可只用一只手），手掌根部放在心窝稍高一点的地方，（掌根放在胸骨的下 1/3 部位），如图 6-15 所示。

(4) 救护者找到触电者的正确压点后，自上而下垂直均衡地用力向下按压，压出心脏里面的血液，如图 6-15 所示。对儿童用力应适当小一些

(5) 按压后，掌根迅速放松（但手掌不要离开胸部），使触电者胸部自动复原，心脏扩张，使血液又回到心脏，如图 6-15 所示。



图 6-15 胸外挤压法

按照上述操作要求，对触电者的心脏反复进行按压和放松，每分钟 60 次。按压时定位要准确，用力要适当。

对触电者施行人工呼吸和胸外挤压，对救护人员来说是非常劳累的，但是为了救治触电者，还必须坚持不懈，直到医务人员前来救治为止。事实说明，只要正确地坚持施行人工救治，



触电假死的人被抢救成活的可能性是相当大的。

### 6.5.3 接地

#### 1. 接地的基本概念

(1) 接地和接地装置。电气设备的某部分与大地之间做良好的电气连接称为接地。接地装置由接地体和接地线两部分组成。埋入地中并直接与大地接触的金属导体称为接地体或接地极。专门为接地而人为装设的接地体称为人工接地体。兼作接地体用的直接与大地接触的各种金属构件、建筑物的基础等称为自然接地体。接地体与电气设备的金属外壳之间的连接线称为接地线。接地线在设备正常运行时是不载流的，但在故障情况下通过接地故障电流。接地线又分为接地干线和接地支线。由若干接地体在大地中相互接地线连接起来的一个整体称为接地网。

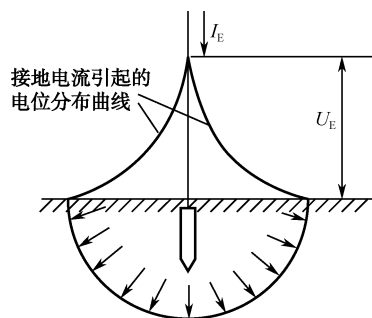


图 6-16 接地电流、对地电压及接地电流电位分布曲线

(2) 接地电流和对地电压。当电气设备发生接地故障时，电流就通过接地体向大地作半球式散开，这一电流称为接地电流。如图 6-18 所示的  $I_E$ 。试验表明，在距单根接地体或接地故障点 20m 左右的地方，实际上，散流电阻已趋近于零，电位为零的地方称为电气上的“地”或“大地”。电气设备的接地部分与零电位的“地”（大地）之间的电位差称为接地部分的对地电压，如图 6-16 所示的  $U_E$ 。

(3) 接触电压和跨步电压。接触电压是指设备的绝缘损坏时，在身体可同时触及的两部分之间出现的电位差。如人站在接地故障的设备旁边，手触及设备的金属外壳，则人手与脚之间的电位差即为接触电压，如图 6-17 所示的  $U_r$ 。

跨步电压是指在故障点附近行走，两脚之间出现的电位差，如图 6-17 所示的  $U_s$ 。在带电的断线落地点附近及防雷装置泄放雷电流的接地体附近行走时，同样也有跨步电压。跨步电压的大小与距接地点的远近有关，距离短路接地点越远，跨步电压越小，距离 20m 以外时，则跨步电压近似等于零，而接触电压的大小则相反，当距离短路接地点越远时，接触电压越大；越近时，接触电压越小。因此，在敷设变配电所的接地装置时，应尽量使接地网做到电位分布均匀，以降低接触电压和跨步电压。

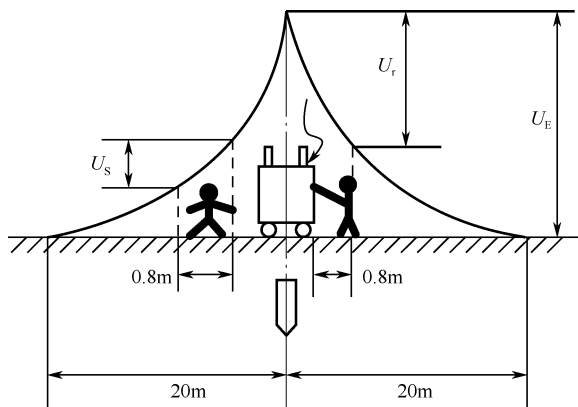


图 6-17 跨步电压和接触电压示意图

## 2. 接地的种类

(1) 工作接地。工作接地是为保证电力系统和电气设备达到正常工作要求而进行的一种接地。例如，电源中性点的接地、防雷装置的接地等。各种工作接地有各自的功能。例如，电源中性点直接接地，能在运行中维持三相系统中相线对地电压不变，而电源中性点经消弧线圈接地，能在单相接地时消除接地点的断续电弧，防止系统出现过电压。至于防雷装置的接地，其功能更是显而易见的，不进行接地就无法对地泄放雷电流，从而无法实现防雷的要求。

(2) 保护接地。由于绝缘的损坏，在正常情况下，不带电的电力设备外壳有可能带电，为了保障人身安全，将电力设备正常情况不带电的外壳与接地体之间作良好的金属连接，称为保护接地，如图 6-18 所示。

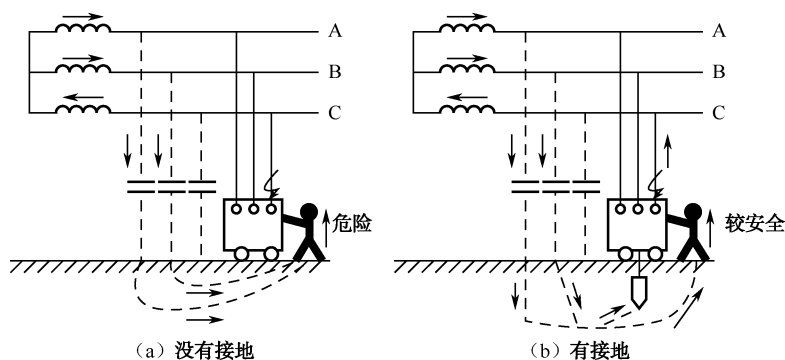


图 6-18 电气设备的保护接地

保护接地一般应用在高压系统中，在中性点直接接地的低压系统中有时也应用。

如图 6-18 (a) 所示，由于电力设备没有接地，当电力设备某处绝缘损坏而使其正常情况下不带电的金属外壳带电时，若人体触及带电的金属外壳，由于线路与大地间存在分布电容，接地短路电流通过人体，这是相当危险的。

但是，当电气设备采用保护接地后，如图 6-18 (b) 所示，若电力设备某处绝缘损坏而使其正常情况下不带电的金属外壳带电时，人体触及带电的金属外壳，接地短路电流将同时沿着接地体和人体两条通路流过，流过每一条通路的电流值与其电阻成反比。接地装置的接地电阻越小，流经人体的电流就越小。通常，人体的电阻比接地装置的电阻大得多，所以流经人体电流较小。只要接地电阻符合要求（一般不大于  $4\Omega$ ），就可以大大降低危险，起到保护作用。

保护接地可分为三种不同类型，即 TN、IT 和 TT 系统，在项目 1 中已介绍不再重复。

## 3. 接地装置的装设

(1) 自然接地体的利用。装设接地装置时，首先利用自然接地体，以节约投资。可作为自然接地体的有与大地有可靠连接的建筑物的钢结构和钢筋、桁车的钢轨，埋地的非可燃可爆的金属管等。对于变配电所来说，可利用其建筑物钢筋混凝土基础作为自然接地体。利用自然接地体时，一定要保证良好的电气连接。

(2) 人工接地体的埋设。人工接地体的埋设应注意不要埋设在垃圾、炉渣和有强烈腐蚀性土壤处，遇有这些情况应进行换土。

人工接地体垂直或水平布置时，其埋设深度距地面应不小于  $0.6\text{m}$ 。最常用的垂直接地体直径为  $50\text{mm}$ 、长为  $2\sim 3\text{m}$  的钢管。水平接地体的长为  $5\sim 20\text{m}$  为宜。如图 6-19 所示。

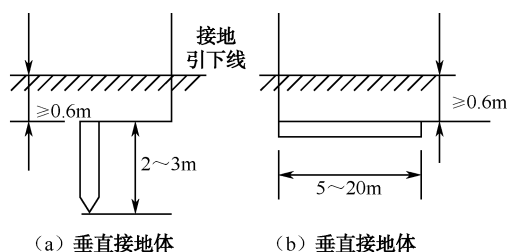


图 6-19 人工接地体埋设示意图

垂直接地体的间距一般要求不小于 5m。因为当多根接地体相互靠拢时，接地电流的流散将互相受到排挤，这种影响接地电流流散的现象称为屏蔽作用。为了减少相邻接地体之间的屏蔽作用，垂直接地体的间距应不小于接地体长度两倍（例如，接地体长 2.5m，则间距不小于 5m），水平接地体的间距可根据具体情况而定，但也不能小于 5m。埋入后的接地体周围要用新土夯实。

### (3) 接地线。

① 自然接地线。为了节约金属，减少投资，应尽量选择自然导体作为接地线。如建筑物的金属构架、电梯竖井、电缆的金属外皮等都可以作为自然接地线。各种金属管道（可燃液体、可燃或爆炸性气体的金属管道除外）可作为低压电力设备的自然接地线。

② 人工接地线。为了连接可靠并有一定的机械强度，一般采用钢作为人工接地线。对于接地体和接地线的截面积应符合我国电气规定的最小规格。

### 4. 接地电阻的要求

接地电阻是接地体的散流电阻与接地线和接地体电阻的总和。由于接地体和接地线的电阻相对较小，可略去不计。因此，接地电阻可认为就是接地体的散流电阻。对接地电阻的要求，按我国有关规定执行即可。

### 5. 接地电阻的测量

接地装置在施工完成后，需要测量接地装置的接地电阻是否符合设计规定要求，在日常运行中，也需要定期测量接地电阻，以免由于接地装置的故障而引起事故。

(1) 测量接地电阻的一般原理。如图 6-20 所示，当在两接地体上加一电压  $U$  后，就有电流  $I$  通过接地体 A 流入大地后经接地体 B 构成回路，形成如图 6-20 所示的电位分布曲线，离接地体 A（或 B）20m 处电位等于零，即在 CD 区为电压降实际上等于零的零电位区。只要测量接地体 A（或 B）与大地零电位的电压  $u_{AC}$ （或  $u_{BD}$ ）和电流  $I$ ，就可以方便地求得接地体的接地电阻。测量接地体接地电阻时都采用交流电。

由上述可知，测量接地体的接地电阻时，为了使电流能从接地体流入大地，除了被测接地体外，还要另外加设一个辅助接地体（称为电流极），才能构成电流回路。而为了测得被测接地体与大地零电位的电压，必须再设一个测量电压用的测量电极（称为电压极）。如图 6-20 所示，电流极和电压极必须恰当布置，否则，测得的接地电阻值误差较大，甚至完全不能反映被测接地体的接地电阻。

为了使测得的接地电阻比较精确，应当使被测接地体与电流极之间的距离足够大，以使得在两极间能出现零电位区 CD，电压极也应位于零电位区 CD 内。

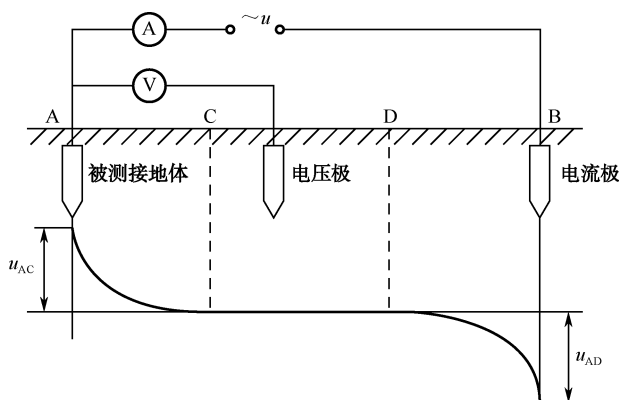
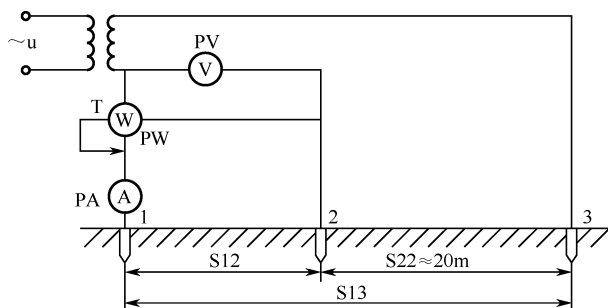


图 6-20 测量接地电阻电流极、电压极与电位分布曲线图

## (2) 测量接地电阻的方法。

① 间接法测量电阻。如图 6-21 所示。用这种方法需制作电流极和电压极。电流极可以用一根直径为 25~50mm、长为 2~3m 的钢管制成；电压极可以用一根长为 0.7~3m、直径为 25mm 的圆钢管制成。作为电流极和电压极的圆钢管顶端应焊接线用的夹子。



1—被测接地体；2—电压极；3—电流极；

T—试验变压器；PV—电压表；PA—电流表；PW—功率表

图 6-21 间接法测量接地电阻的电路

在测量接地电阻时须先估计电流的大小，选出适合截面的绝缘导线，在预先试验时可利用可变电阻  $R$  调整电流，当正式测量时，则将可变电阻短路，由电流表、电压表及功率表所得的数据可以算出接地电阻  $R_E$ 。

$$R_E = \frac{U}{I} \text{ 或 } R_E = \frac{P}{I^2} = \frac{U^2}{P}$$

这种方法很烦琐。所以，一般仅在没有接地电阻测试仪，或者接地电阻不在接地电阻测试仪范围内时才采用。

② 直接法测量接地电阻。一般测量接地电阻大多采用接地电阻测试仪。采用接地电阻测试仪测量接地电阻时，电流极和电压极应与仪器配套供应。

手摇表接地电阻测试仪，如 ZC29 型，由手摇发电机、电流互感器、电位器等组成。测量电路如图 6-22 所示。

摇测时，先将测试仪的“倍率标尺”开关置于较大倍率挡。慢慢转动摇柄，同时调整“测

量标度盘”，使指针指零（中线），然后加快转速（约为 120r/min），并同时调整“测量标度盘”，使指针指示表盘中线。这时，“测量标度”所指示的数值乘以“倍率标尺”的数值，即为接地装置的接地电阻。

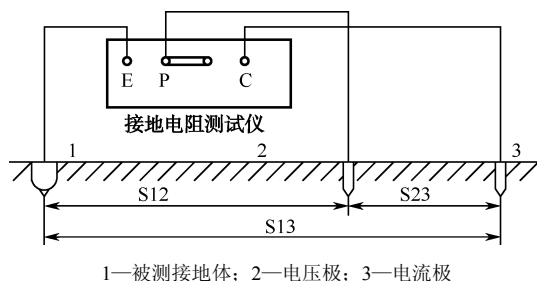


图 6-22 直接法测量接地电阻的电路

## 6. 接地装置的运行与维护

运行中的接地装置巡视与检查项目如下：

(1) 检查接地线或接零线与电气设备的金属外壳，以及同接地网的连接是否良好，有无松动脱落等现象。

(2) 检查接地线有无损伤、碰断及腐蚀等现象。

(3) 对于移动式电气设备的接地线，在每次使用前应检查其接地线情况，观察有无断股现象。

(4) 定期测量接地装置的接地电阻值，测量接地电阻要在土壤电阻率最大的季节内容进行，即夏季土壤干燥时期和冬季土壤冰冻最甚时期。

维护工作如下：

(1) 要经常观察人工接地体周围环境情况，不应堆放具有强烈腐蚀性的化学物质。

(2) 对于接地装置与公路、铁路或管道等交叉的地方，应采用保护措施，以防碰伤损坏接地线。

(3) 接地装置在接地线引进建筑物的入口处，最好有明显的标志，以便为运行维护工作提供方便。

(4) 明敷的接地线表面所涂的漆应完好。

(5) 电气设备在每次打修后，应着重检查其接地线是否牢固。

(6) 当发现运行中接地装置的接地电阻不符合要求时，可采用降低电阻的措施，如将接地体引至土壤电阻率较低的地方、装设引外接地体或者在接地坑内填入化学降阻剂。

### 6.5.4 低压接地制式对接地安全技术的基本要求

#### 1. 基本要求

(1) 系统接地后提供了采用自动切断供电电源这一间接接触防护措施的必要条件。

(2) 系统中应实施总电位连接。

(3) 在不得在保护回路中装设保护电器或开关，但允许装设只有用工具才能断开的连接点。

(4) 严禁将可燃液体、可燃气体管道作为保护导体。

(5) 电气装置的外露可导电部分不得用作保护导体的串联过渡接点。

(6) 保护导体必须有足够的截面。

## 2. 接地系统实例分析

**例 6-11** 某楼内附 10kV/0.4kV 变电站, 本楼采用 TN-S 接地制式, 该站提供与其相距 100m 的一幢多层住宅楼的 0.22kV/0.38kV 电源, 因主楼采用了 TN-S 接地制式, 故该住宅楼也只能采用 TN-S 制式, 是否正确?

**分析:** 对于该住宅楼的供电采用何种接地制式, 其目的是为了安全, 称为保护性接地。根据图 6-23 可知, 这三种接地形式配上相应保护设备, 均是可行的。但从图 6-23 (b) 中可以看出, 该方案比较经济, 同时在总 N 线因故拆断时, 其 N 线已接地, 不会因负荷不平衡而造成基准电位大的漂浮, 而烧坏家电, 图 6-23 (c) 为 TT 系统, 也是可行的、经济的, 但必须设置漏电保护。

根据以上分析可知, 认为该住宅楼只能采用 TN-S 接地形式是不全面的, 而应该采用 TN-C-S 或 TT 接地形式。

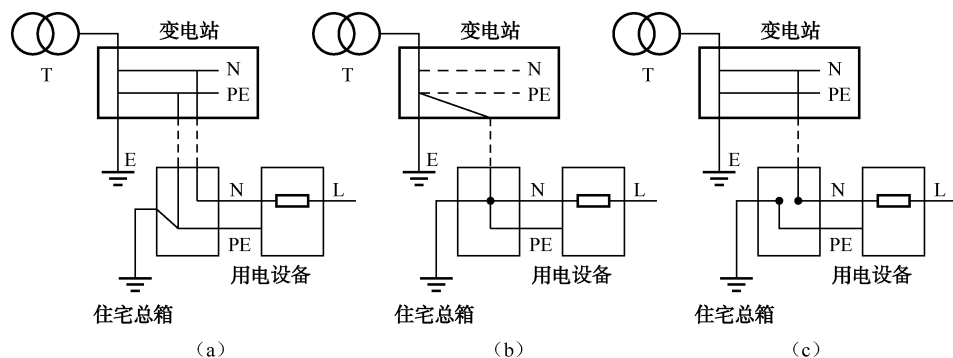


图 6-23 例 6-11 分析题图

**例 6-12** 在 TT 系统中, N 线和 PE 线接错后的危害是什么?

**分析:** 在 TT 系统中, N 线和 PE 线接地是互相独立的, 因此, 绝对不允许接错。

如图 6-24 所示, 假设在 1#设备处接错, 2#设备接法正确, 其结果是 1#设备为一相一地运行, 是不允许的, 如果发生在 N 线 F 点断开, 将造成 1#设备金属外壳对地呈现危险电压, 是极不安全的。

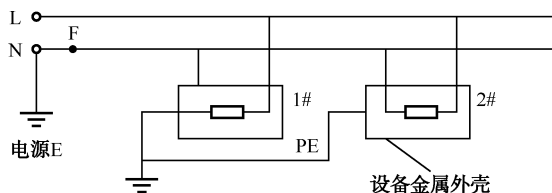


图 6-24 TT 系统接线错误情况

## 6.5.5 35kV 变电所的防雷设计

### 1. 防雷设计的原则

变电所的防雷设计应做到设备先进、保护动作灵敏、安全可靠、维护试验方便, 在此前提下, 力求经济合理。

## 2. 主要防雷设备

防止雷电直击的主要设备有避雷针、避雷线；防止雷电波沿架空线路侵入电气设备和建筑物内部的主要设备有避雷器等。避雷针有单支、多支、等高和不等高之分；避雷器有阀型避雷器和金属氧化物避雷器等。

(1) 接闪器。接闪器是专门用来接受雷电的金属物体。接闪器的金属杆称为避雷针。接闪器的金属线称为避雷线（又称架空地线）。接闪器的金属带、金属网，称为避雷带、避雷网。特殊情况下，也可用金属屋面和金属构件作为接闪器，所有的接闪器都必须经过上、下线与接地装置相连。

(2) 避雷针。避雷针一般用镀锌圆钢或镀锌焊接钢管制成。通常安装在构架、支柱或建筑物上，其下端经引下线与接地装置焊接。

避雷针的作用是实质上是引雷。由于避雷针高出被保护物，又和大地直接相连，当雷云接近时，它与雷云之间的电场强度最大，因而可将雷云放电的通路吸引到避雷针本身，并经引下线和接地装置将雷电流安全地泄放到大地中去，使被保护建筑物免受直接雷击。所以，避雷针实质是引雷针，把雷电流引入大地，从而保护了线路、设备及建筑物等。

避雷针的保护范围，能防护直击雷的空间来表示。

我国过去的防雷设计规范或过电压保护规程，对避雷针或避雷线的保护范围是按“折线法”来确定的，而新制定的国家标准 GB50057—1994《建筑物防雷设计规范》则参照国际电工委员会 IEC 标准采用“滚球法”来确定。

滚球法就是选择一个半径为  $h$  的球体，沿需要防护直击雷的部位滚动，如果球体只触及到接闪器或接闪器和地面，而不触及需要保护的部位时，则该部位就在这个接闪器的保护范围内。滚球半径  $h$  相当于闪击距离。滚球半径较小，相当于模拟雷击电流幅值较小的雷击，保护概率就较高。滚球半径是按建筑物的防雷类别确定的：第一类防雷建筑物滚球半径为 30m；第二类防雷建筑物滚球半径为 45m；第三类防雷建筑物滚球半径为 60m。按建筑物的防雷类别确定滚球半径和避雷网格尺寸可参照表 6-18。

表 6-18 按建筑物的防雷类别确定滚球半径和避雷网格尺寸

建筑物防雷类别	滚球半径 $h/m$	避雷网网格尺寸
第一类防雷建筑物	30	$\leq 5 \times 5$ 或 $\leq 6 \times 4$
第二类防雷建筑物	45	$\leq 10 \times 10$ 或 $\leq 12 \times 8$
第三类防雷建筑物	60	$\leq 20 \times 20$ 或 $\leq 24 \times 16$

(3) 引下线。引下线若采用的圆钢或扁钢时，圆钢直径不应小于 8mm；扁钢截面不应小于  $45\text{mm}^2$ ，厚度不应小于 4mm。而利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋作引下线时如下：

- ① 当钢筋直径为 16mm 及以上，应利用两根钢筋绑扎或焊接作为一组引下线。
- ② 当钢筋直径为 10mm 及以上，应利用四根钢筋绑扎或焊接作为一组引下线。

## 3. 避雷器

避雷器是用来防止雷电产生的过电压波沿线路侵入变配电所或其他建筑物内，以免危及被保护设备的绝缘。避雷器应与被保护设备并联，装在被保护设备的电源侧。当线路出现危及被保护设备绝缘的雷电过电压时，避雷器的火花间隙就被击穿，或由高阻变为低阻，使过电压对大地放电，从而保护了设备的绝缘。避雷器主要有阀式、排气式等。这里主要介绍阀式避雷器。

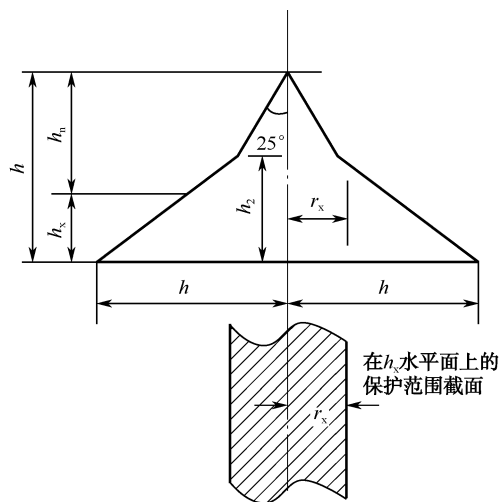
阀式避雷器又称为阀型避雷器，由火花间隙和阀片组成，装置密封在瓷套管内。火花间隙用铜片冲制而成，每对间隙用厚  $0.5\sim 1\text{mm}$  的云母垫圈隔开。正常情况下，火花间隙阻断工频电流通过；但在雷电过电压作用下，火花间隙被击穿放电。阀片是用陶料黏固的金刚砂（碳化硅）颗粒制成的，它具有非线性特性，正常电压下其电阻很大，而过电压下其电阻变得很小，因此，阀型避雷器在线路上出现雷电过电压时，其火花间隙击穿，阀片能使雷电流顺畅地向大地泄放。当雷电过电压消失、线路上恢复工频电压时，阀片呈现很大的电阻，使火花间隙绝缘迅速恢复而切断工频续流，从而保证线路恢复正常运行。

阀式避雷器中火花间隙和阀片的多少，与其工作电压的高低成比例。高压阀式避雷器串联很多单元火花间隙，目的是将长弧分割成多段短弧，以加速电弧的熄灭。其阀电阻的限流作用是加速灭弧的主要因素。国产阀式避雷器有高压 FS4-10 型和低压 FS-0.38 型。另外，还有排气式与金属氧化物避雷器，这里不再介绍。

#### 4. 变电所的防雷设计

##### 1) 35kV 进线段的防雷设计

变电所防止雷电直击线路的措施是安装避雷线；根据线路的负荷性质、地形地貌特点、该地区雷电活动的强弱，以及土壤电阻率高低等情况，合理选用。对于 35kV 送电线路不宜沿全线架设避雷线，通常采用的方法是在变电所的进线段假设  $1\sim 2\text{km}$  的避雷线（图 6-25）。



$h$ —避雷线的高度； $h_x$ —被保护物体高度； $h_a$ —避雷线的有效高度； $r_x$ —避雷线每侧保护半径

图 6-25 单根避雷线的保护范围

单根避雷线的保护范围应按下列公式确定，即

$$(1) \text{ 当 } h_x \geq h/2 \text{ 时, } r_x = 0.47(h - h_x)P。$$

式中  $p$ ——高度影响系数。

$$\text{当 } h \leq 30\text{m} \text{ 时, } p=1; \text{ 当 } 30 \leq h \leq 120\text{m} \text{ 时, } p = 5.5\sqrt{h}。$$

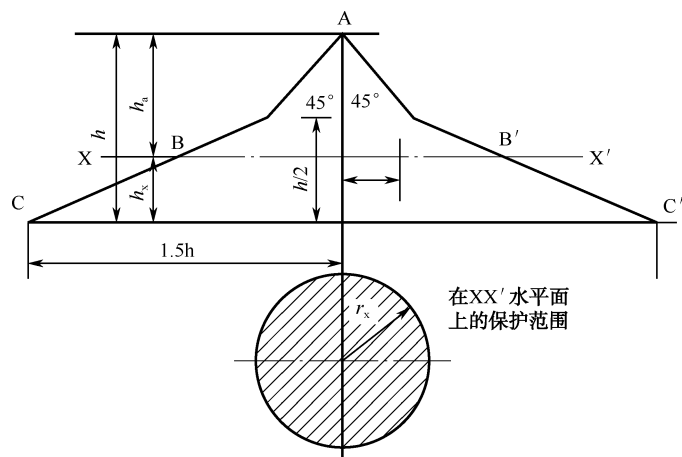
$$(2) \text{ 当 } h_x < h/2 \text{ 时, } r_x = (h - 1.53h_x)p。$$

当保护范围较宽时，可采用两根平行等高避雷线联合保护。其保护范围可参阅有关设计手册。



## 2) 变电所防雷设计

防止雷电直击的主要设备是避雷针(图 6-26), 避雷针由接闪器和引下线、接地装置等组成。避雷针位置的确定, 是变电所防雷设计的关键步骤。首先应根据变电所设备平面布置图的情况而确定。避雷针的初步选定安装位置与设备的电气距离应符合各种规程规范的要求, 初步确定避雷针的安装位置后, 再根据下列公式进行计算, 校验变电所是否在保护范围之内。



$h$ —避雷线的高度;  $h_x$ —被保护物体高度;  $h_a$ —避雷线的有效高度;

$r_x$ —避雷线在  $h_x$  高度水平面上的保护半径

图 6-26 单支避雷针的保护范围

(1) 单支避雷针在地面上的保护半径应按式计算, 即

$$r = 1.5h$$

(2) 单支避雷针在被保护物高度  $h_x$  水平面上的保护半径应按式计算, 即当  $h_x \geq h/2$  时,  $r_x = (h - h_x)p = h_a p$ 。

式中  $r_x$ ——避雷针在  $h_x$  水平面上的保护半径;

$h_a$ ——避雷针的有效高度。

当  $h_x < h/2$  时,  $r_x = (1.5h - 2h_x)p$ 。

当保护范围较大时, 若用单支避雷针保护, 则需架设很高, 不仅投资大, 而且施工困难, 所以, 应采用多支避雷针进行联合保护。如采用两支、三支或更多支避雷针, 其保护范围可参阅有关设计手册。

## 3) 35kV 及 10kV 母线防雷设备的选择

根据《电力设备过电压保护设计技术规程》的要求, 变电所的每组母线上, 都应安装避雷器, 作为防止高压雷电波沿架空线路、设备侵入变电所的最主要措施。在母线防雷设备选择上应尽量按以下三个方面选择。

(1) 按额定电压选择: 避雷器的额定电压必须大于或等于安装处的电网额定电压。

(2) 按工作环境温度选择: 选择工作环境温度在  $-40 \sim 40^\circ\text{C}$ , 适用高寒、高温工作环境设备。

(3) 应首先采用高新技术产品, 并有一定可靠运行记录的新产品。选用通流能力强、正常工作时通过的工频电流小、放电时间短、稳定性高、残压低的避雷器。

#### 4) 避雷器的配置和选择

各种类型避雷器的应用范围见表 6-19。

表 6-19 各种类型避雷器的应用范围

型 号	型 式	应 用 范 围
FS	配电用普通阀型	10kV 及以下的配电系统、电缆终端盒
FZ	电站用普通阀型	3~220kV 发电厂、变电所的配电装置
FCZ	电站用磁吹阀型	(1) 330kV 及以上配电装置, 降低绝缘的配电装置; (2) 220kV 及以下需要限制操作过电压的配电装置; (3) 布置在场所特别狭窄或高烈度地震区; (4) 某些变压器的中性点
FCX	线路型磁吹阀型	330kV 及以上配电装置的出线
FCD	旋转电动机用磁吹阀型	发电机、调相机等 (户内安装)
Y 系列	金属氧化物 (氧化锌) 阀型	(1) 同 FCZ、FCX 与 FCD 型磁吹阀型避雷器的应用范围; (2) 并联电容器组, 串联电容器组; (3) 高压电缆, 变压器和电抗器的中性点; (4) 全封闭组合电器, 频繁切换的电动机

避雷器一般按以下的规定配置。

(1) 配电装置的每组母线上均应装设避雷器, 就近接入主接地网, 并加设集中接地装置。

(2) 35kV 及以下电缆进线段, 在电缆与架空线的连接处应装设避雷器。

(3) 下列情况的变压器中性点应装设避雷器。

① 直接接地系统中, 变压器中性点为分级绝缘且装有隔离开关时。

② 直接接地系统中, 变压器中性点为全绝缘, 但变电所为单进线且为单台运行时。

③ 不接地和经消弧线圈接地系统的中性点一般不必装设, 但多雷电爆击区且单进线变压器中性点需装设。

硅橡胶金属氧化物避雷器是当前高新技术应用的代表性产品, 具有良好的电气绝缘性能, 防腐、抗老化性能。同时还具有使用寿命长、运行维护费用低、体积小、质量轻等优点, 是当期使用较多的避雷器之一。

### 实操训练 21 接地电阻测量实训

#### 1. 实训目的

(1) 掌握采用接地电阻测量仪, 测量一般建筑接地网接地电阻的方法。

(2) 通过接地电阻的实测数据, 判断接地是否满足规程要求。

#### 2. 实训地点及内容

(1) 因实训在户外进行, 两位同学为一组。

(2) 采用接地电阻测试仪, 分组测量学院的不同建筑, 如教学楼、实验楼等接地网的接地电阻。

#### 3. 实训设备: ZC-8 型接地电阻测试仪

ZC-8 接地电阻测试仪介绍如下:

(1) ZC-8 接地电阻测试仪的结构。接地电阻测试仪系由手摇发电机、电流互感器、滑线

电阻及检流计等部件组成，全部机构装于铝合金铸造的携带式外壳内，附件有接地探测针及连接导线等。

(2) 接地电阻测试仪的工作原理参看前面相关内容。

#### 4. 实训步骤和方法

(1) 接地测量电路如图 6-27 所示。

(2) 实训步骤和方法：

① 将被测接地极  $E'$ 、电位探针  $P'$  和电流探针  $C'$  依直线彼此相距 20m，且电位探针  $P'$  要插在接地极  $E'$  和电流探针  $C'$  之间。

② 用导线将  $E'$ 、 $P'$  和  $C'$  连接于仪表相应端钮  $E$ 、 $P$ 、 $C$ 。

③ 将仪表放置水平位置，检查检流计的指针是否处于中心线上，否则，用零位调整器将其调整指于中心线。

④ 将“倍率标度”置于最大倍数，慢慢转动发电机摇把，同时旋动“测量标度盘”，使检流计指针指于中心线。

⑤ 当检流计指针接近于平衡时，加快发电机摇把的转速，使其达到 120r/min 以上，整定“测量标度盘”使指针于中心线。

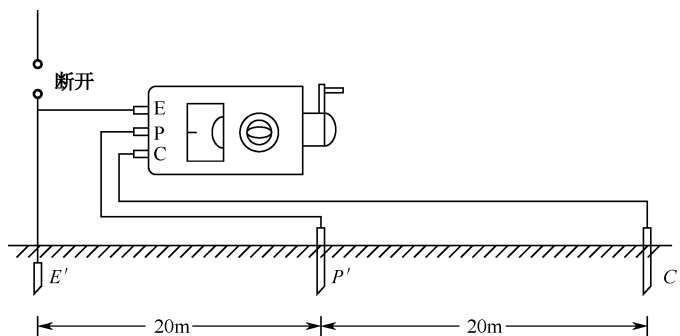


图 6-27 接地测量电路

⑥ 如“测量标度盘”的读数小于 1 时，应将“倍率标度”置于较小的倍数，再重新调整“测量标度盘”，使检流计指针指于中心线，以便得到正确的读数。

⑦ 用“测量标度盘”的读数乘以“倍率标度”的倍数，即所测的接地电阻值。

⑧ 反复测量三次，取平均值。

(3) 实训注意事项。

① 当检流计灵敏度过高时，可将电位探针  $P'$  插入土壤中时浅一些；当检流计灵敏不够时，可适当在电位探针  $P'$  和电流探针  $C'$  的位置注水，使其湿润，以减小其接地电阻。

② 当接地极  $E'$  和电流探针  $C'$  之间直线距离大于 20m 时，电位探针  $P'$  偏离  $E' C'$  直线几米，可不计及误差，但  $E'$ 、 $C'$  之间直线距离小于 20m 时，则必须将电位探针  $P'$  插在  $E' C'$  直线上，否则，将影响测量结果。

③ 不允许在直线过程中摇动发电机手把，以防触电。

#### 5. 实训结果

实训数据记录见表 6-20。

表 6-20 实训数据记录

建筑物接地网名称	规程规定值	实 测 值			倍率标度数
		1	2	3	测量标度盘读数

## 6. 分析与体会

- (1) 接地电阻实测结果大小是多少？是否满足一般建筑物的接地电阻规程要求？
- (2) 为满足接地电阻要求，可采取什么改善措施？

## 实操训练 22 工厂供配电系统设计方案中避雷器的配置与选择

- (1) 架空进线上避雷器的配置和选择。
- (2) 变压器中性点避雷器的配置和选择。
- (3) 低压侧母线上避雷器的配置和选择。
- (4) 低压侧出线上避雷器的配置和选择。

### 6.5.6 问题与思考

#### 一、填空题

1. 接地种类有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
2. 选择性是指\_\_\_\_\_。
3. 接闪器主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_几种。
4. 避雷针一般用\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_制成。通常安装在\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_或建筑物上，其下端经引下线与接地装置焊接。
5. 把电气设备的金属外壳接到线路系统的\_\_\_\_\_称为保护接零。
6. 把电动机、变压器等电气设备的\_\_\_\_\_用电阻很小的导线与埋在地中的接地装置可靠地连接起来，称为保护接地。
7. 人体触及带电体有三种不同情况，分别为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_电压触电。
8. 一般规定\_\_\_\_\_以下为安全电压。

#### 二、判断题（正确的打√，错误的打×）

9. 避雷针的保护范围完全由避雷针的高度决定。 ( )
10. 电力系统的过电压，即指雷电过电压。 ( )
11. 电气设备与地之间用一根导线连接起来称为接地。 ( )
12. 避雷器与避雷针的保护原理相同。 ( )
13. 输电线全长都要架设避雷线。 ( )

#### 三、技能题

14. 保护接地有几种类型？其作用是什么？
15. 什么是接地电阻，对接地电阻有什么要求？
16. 为满足接地电阻要求，可采取什么改善措施？
17. 在 380/220V 同一系统中，既采用保护接地又采用保护接零会出现什么问题？
18. 请用接地电阻测试仪测量你所在教学楼的接地电阻值。

附表 A 常用高压断路器的技术数据

类别	型 号	额定电 压/kV	额定电 流/A	开断电 流/kA	断流容量 /MV·A	动稳定电 流峰值/kA	热稳定 电流/kA	固有分闸 时间/s	合闸时 间/s	配用操动 机构型号
少油 户外	SW2-35/1000	35	1000	16.5	1000	45	16.5（4s）	≤0.06	≤0.04	CT2-XG
	SW2-35/1500		1500	24.8	1500	63.5	24.8（4s）			
少油 户内	SN10-35Ⅰ	35	1000	16	1000	45	16（4s）	≤0.06	≤0.2	CT10
	SN10-35Ⅱ		1250	20	1000	50	20（4s）		≤0.25	CT101V
	SN10-10Ⅰ	10	630	16	300	40	16（4s）		≤0.15	CT8
			1000	16	300	40	16（4s）		≤0.2	CD10I
	SN10-10Ⅱ		1000	31.5	500	80	31.5（2s）	0.06	0.2	CT10I、Ⅱ
	SN10-10Ⅲ		1250	40	750	125	40（2s）	0.07	0.2	CD10Ⅲ
真空 户内			2000	40	750	125	40（2s）			
	3000		40	750	125	40（2s）				
	ZN23-35	35	1600	25		63	25（4s）	0.06	0.075	CT12
	ZN3-10Ⅰ		630	8		20	8（4s）	0.07	0.15	CD10等
	ZN3-10Ⅱ		1000	20		50	20（2s）	0.05	0.10	
	ZN4-10/1000		1000	17.3		44	17.3（4s）	0.05	0.2	CD10等
	ZN4-10/1250		1250	20		50	20（4s）			
	ZN5-10/630		630	20		50	20（2s）	0.05	0.1	专用CD 型
	ZN5-10/1000		1000	20		50	20（2s）			
	ZN5-10/1250		1250	25		63	25（2s）			
	ZN12-10/1250		10	1250	25		63	25（4s）	0.06	0.1
	ZN12-10/2000	2000								
	ZN12-10/1250	1250		31.5	80		31.5（4s）			
	ZN12-10/2000	2000								
	ZN12-10/2500	2500	40	100		40（4s）				
	ZN12-10/3150	3150								
	ZN24-10/1250-20	1250	20		50	20（4s）	0.06	0.1	CD8等	
	ZN24-10/1250	1250	31.5	80	31.5（4s）					
	ZN24-10/2000	2000								
六氟 化硫 （SF <sub>6</sub> ） 户内	LN-35Ⅰ	35	1250	16		40	16（4s）	0.06	0.15	CT12Ⅱ
	LN-35Ⅱ		1250	25		63	25（4s）			
	LN-35Ⅲ		1600	25		63	25（4s）			
		LN2-10	10	1250	25		63	25（4s）	0.06	0.15

# 附表 B S9 系列 6 ~ 10kV 级铜绕组低损耗 电力变压器的技术数据

额定容量 /Kv · A	额定电压/kV		连接组标号	空载损耗 /W	负载损耗 /W	阻抗电压 /%	空载电流 /%
	一 次	二 次					
30	10.5,6.3	0.4	Yyn0	130	600	4	2.1
50	10.5,6.3	0.4	Yyn0	170	870	4	2.0
63	10.5,6.3	0.4	Yyn0	200	1040	4	1.9
80	10.5,6.3	0.4	Yyn0	240	1250	4	1.8
100	10.5,6.3	0.4	Yyn0	290	1500	4	1.6
		0.4	Dyn11	300	1470	4	4
125	10.5,6.3	0.4	Yyn0	340	1800	4	1.5
		0.4	Dyn11	360	1720	4	4
160	10.5,6.3	0.4	Yyn0	400	2200	4	1.4
		0.4	Dyn11	430	2100	4	3.5
200	10.5,6.3	0.4	Yyn0	480	2600	4	1.3
		0.4	Dyn11	500	2500	4	3.5
250	10.5,6.3	0.4	Yyn0	560	3050	4	1.2
		0.4	Dyn11	600	2900	4	3
315	10.5,6.3	0.4	Yyn0	670	2650	4	1.1
		0.4	Dyn11	720	3450	4	1.0
400	10.5,6.3	0.4	Yyn0	800	4300	4	3
		0.4	Dyn11	870	4200	4	1.0
500	10.5,6.3	0.4	Yyn0	960	5100	4	3
		0.4	Dyn11	1030	4950	4	1.0
630	10.5,6.3	0.4	Yyn0	1200	6200	4.5	0.9
		0.4	Dyn11	1300	5800	5	1.0
800	10.5,6.3	0.4	Yyn0	1400	7500	4.5	0.8
		0.4	Dyn11	1400	7500	5	2.5
1000	10.5,6.3	0.4	Yyn0	1700	10300	4.5	0.7
		0.4	Dyn11	1700	9200	5	1.7
1250	10.5,6.3	0.4	Yyn0	1950	12000	4.5	0.6
		0.4	Dyn11	2000	11000	5	2.5
1600	10.5,6.3	0.4	Yyn0	2400	14500	4.5	0.6
		0.4	Dyn11	2400	14000	6	2.5

## 参考文献

- [1] 刘介才. 工厂供电 (第4版). 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 张莹. 工厂供配电技术. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [3] 陈化钢. 企业供配电. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [4] 王心田, 魏朝钰. 变电站值班. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [5] 江文, 许慧中. 供配电技术. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 柳春生. 实用供配电技术. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [7] 宋继成. 电气接线设计. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [8] 张朝英. 供电技术. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [9] 唐志平. 工厂供配电. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [10] 李晓雄. 供配电系统运行与维护. 北京: 化学工业出版社, 2010.

## 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036